



TUGAS AKHIR TF 141581

**PREDIKSI SIFAT MEKANIK KERAMIK
 Al_2O_3 BERDASAR PENAMBAHAN SUHU
SINTERING DAN PRESENTASE ADITIVE
MENGUNAKAN JARINGAN SARAF
TIRUAN**

MOH ILFAN JAUHARI
2412.105.015

Dosen Pembimbing :
Ir Zulkifli Abdullah MSc
Detak Yan Pratama ST MT

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TF141581

**PREDICTION OF Al_2O_3 CHERAMIC
MECHANICAL PROPERTIES BASED ON
SINTERING TEMPERATUR AND
ADITIVE PERCENTAGE ADDING BY
NEURAL NETWORK**

MOH ILFAN JAUHARI
2412.105.012

Lecturer :
Ir Zulkifli Abdullah MSc
Detak Yan Pratama ST MT

Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PREDIKSI SIFAT MEKANIK KERAMIK Al_2O_3
BERDASAR PENAMBAHAN SUHU SINTERING
DAN PRESENTASE ADITIVE MENGGUNAKAN
JARINGAN SARAF TIRUAN**

TUGAS AKHIR

Oleh :


Moh Ilfan Jauhari
NRP 2412.105.012

Surabaya, 8 Juli 2015

Menyetujui,


Dosen Pembimbing I

Dosen pembimbing II


Ir Zulkifli Abdullah MSc
NIP. 195811181987011001


Detak Yan Pratama ST MSc
NIP. 198401012012121002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS


Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.
NIP. 196503091990021001

PREDIKSI SIFAT MEKANIK KERAMIK Al_2O_3 BERDASAR PENAMBAHAN SUHU SINTERING DAN PRESENTASE ADITIVE MENGGUNAKAN JARINGAN SARAF TIRUAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika Fakultas
Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MOH ILFAN JAUHARI
NRP. 2412.105.012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir Zulkifli A, MSc (Pembimbing I)
2. Detak Yan P, ST MT (Pembimbing II)
3. Lizda Johar M, ST MT (Ketua Penguji)
4. Dyah Sawitri, ST, MT (Penguji II)
5. Dr.-Ing. Doty DR, ST, MT (Penguji III)
6. Ir. Jerri S, MT (Penguji IV)
7. Andi R, ST, MT (Penguji V)

SURABAYA
8 JULI 2015

**PREDIKSI SIFAT MEKANIK KERAMIK Al_2O_3 BERDASAR
PENAMBAHAN PRESENTASE ADITIVE DAN SUHU
SINTERING DENGAN MENGGUNAKAN JARINGAN
SARAF TIRUAN**

Nama Mahasiswa	: Moh Ilfan Jauhari
NRP	: 2412 105 012
Jurusan	: Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: Ir. Zulkifli Abdullah, MSc Detak Yan Pratama ST MSc

Abstrak

Keramik adalah salah satu material paling penting yang ada di dunia. Keramik memiliki beberapa aplikasi pada sektor tradisional ataupun pada sektor advance. Untuk dapat memenuhi sektor-sektor tersebut sifat mekanik dari keramik harus diperkirakan dengan benar. Sifat mekanik dari keramik Al_2O_3 atau alumina seperti kekuatan bengkok dan kekerasan sangat bergantung pada suhu temperatur sintering dan material aditive. Penelitian-penelitian terus dilakukan untuk menentukan sifat mekanik terbaik yang diperoleh dengan suhu sintering dan material aditive yang proporsional. Dengan melihat grafik yang dihasilkan oleh jaringan saraf tiruan, sifat mekanik mengenai kekerasan tidak mengalami kenaikan pada presentase aditive 8% hingga presentase 15% pada hampir seluruh range temperatur. Sifat mekanik pada kekuatan bengkok tidak naik secara signifikan pada presentase aditive 8% hingga presentase aditive 15% ketika range temperatur 1300°C-1400°C dan mengalami kenaikan paling signifikan pada presentase 8% hingga 15% ketika range suhu 1500°C-1600°C. Prediksi sifat mekanik ini menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan 1 buah hidden layer dengan 60 hidden node. Algoritma pembelajaran yang dipakai adalah lavenberg marquadt. Untuk mengecek kualitas dari jaringan yang dipakai digunakan parameter NRMSE. NRMSE untuk kekerasan adalah sebesar 0,001 %. NRMSE untuk kekuatan patah sebesar 0,002%.

Kata kunci : Keramik, Al_2O_3 , Jaringan Saraf Tiruan, Temperatur Sintering, Presentase Aditive

PREDICTION OF Al_2O_3 CHERAMIC MECHANICAL PROPERTIES BY ADDING ADITIVE AND SINTERING TEMPERATURE PROCESSED BY NEURAL NETWORK

Name : Moh Ilfan Jauhari
NRP : 2412 105 012
Department : Engineering Physics
Lecturer : Ir Zulkifli Abdullah, MSc
Detak Yan Pratama ST MSc

Abstract

Ceramic is one of the most important material in the world. It has many aplication in traditional sector or advanced sector. To comply that sectors the mechanical properties of the ceramic must be considered properly. The mechanical properties of ceramic such as flexural strength, and hardness mainly depend on the sintering temperature and aditive material. The experiments are still on going to determine the best mechanical properties by the proportional sintering temperature and aditive. By seeing the graphic neural network produce, hardness does not increase at 8% aditive percentage until 15% aditive percentage of all temperature range. Flexural strength does not increase significantly at 8% until aditive percentage 20% at temperature range 1300°C-1400°C and increase significantly at 8% percentage until 15% percentage at 1500°C-1600°C. The mechanical properties prediction is using neural network with one hidden layer, contains 60 hidden node. The learning algorithm is lavenberg marquadt. For checking the quality of the network NRMSE paramater is used. 0,001%. NRMSE of flexural strength is 0,002%.

Key word : Cheramic, Al_2O_3 , Neural Network, Sintering Temperature, Aditive Percentage

KATA PENGANTAR

Puji serta sukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas campur tanganNya penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini juga adalah salah satu syarat untuk mengikuti mata kuliah Tugas Akhir MK TF-141581.

Laporan ini dapat diselsaikan dengan adanya bantuan dari berbagai pihak seperti para pembimbing, dosen, maupun seluruh teman-teman, oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku kajur TF-ITS
2. Bapak Ir Zulkifli Abdullah MSc selaku pembimbing I
3. Bapak Detak Yan Pratama ST MSc selaku pembimbing II
4. Ibu Lizda Johar M, ST MT selaku ketua penguji
5. Dyah Sawitri, ST, MT selaku penguji II
6. Dr.-Ing. Doty DR, ST, MT selaku penguji III
7. Ir. Jerri S, MT selaku penguji IV
8. Andi R, ST, MT selaku penguji V
9. Seluruh teman-teman dan seluruh warga Teknik Fisika

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam tugas akhir ini. Sehingga saran dan kritik dar pembaca sangat diharapkan, agar penelitian selanjutnya dapat menjadi lebih baik lagi dan bisa semakin menambah wawasan kita semua.

Penulis

Moh Ilfan Jauhari
2412105012

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xv
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
BAB II Dasar Teori	5
2.1 Keramik	5
2.2 Jaringngan saraf tiruan	16
BAB III Perancangan dan Pemodelan Sistem	33
3.1 Algoritma Pengerjaan	33
3.1.1 Data <i>Input</i>	33
3.1.2 Data Target	35
3.1.3 Interpolasi Data	37
3.2 Pembuatan Jaringa Saraf Tiruan	41
BAB IV Analisa Data dan Pembahasan	53
4.1 <i>Hardness</i> Al_2O_3 Dengan Aditive <i>Mullite</i>	53
4.2 <i>Flexural Strength</i> Al_2O_3 Dengan Aditive <i>Mullite</i>	64
BAB V Kesimpulan	77
5.1 Kesimpulan	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Kristal Material SiO_2	7
Gambar 2.2 Struktur Amorf Material SiO_2	7
Gambar 2.3 <i>Rubber Mold Paste</i>	9
Gambar 2.4 <i>Extrusion Molding</i>	9
Gambar 2.5 <i>Injection Molding</i>	9
Gambar 2.6 <i>Die Pressing</i>	9
Gambar 2.7 <i>Slip Casting</i>	10
Gambar 2.8 Mikrostruktur Bahan Baku Mentah	10
Gambar 2.9 Mikrostruktur Keramik Ketika <i>Consolidation</i>	10
Gambar 2.10 Mikrostruktur Keramik Setelah Sintering	11
Gambar 2.11 Diagram Fasa $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	16
Gambar 2.12 <i>Neuron Biologis</i>	19
Gambar 2.13 <i>Neuron Buatan</i>	19
Gambar 2.14 Struktur Neuron Jaringan Saraf.....	23
Gambar 2.15 Neuron Berinput Tunggal	25
Gambar 2.16 Jaringan Saraf <i>Multilayer</i>	26
Gambar 2.17 Fungsi Undak Biner (<i>Hard Limit</i>)	27
Gambar 2.18 Fungsi Undak Biner (Treshold).....	27
Gambar 2.19 Fungsi Bipolar (<i>Symetric Hard Limit</i>)	29
Gambar 3.1 Sketsa Jaringan Saraf Tiruan Dengan Model Backpropagation.....	37
Gambar 3.2 Grafik data eksperimen <i>hardness</i> yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya.....	38
Gambar 3.3 Grafik data eksperimen <i>hardness</i> kebalikan yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya.....	39
Gambar 3.4 Grafik Data Eksperimen <i>Flexural</i> <i>Strength</i> Dari Jurnal Penelitian Sebelumnya.....	40
Gambar 3.5 Grafik Data Eksperimen <i>Flexural</i> <i>Strength</i> Kebalikan Dari Jurnal Penelitian	

Sebelumnya	41
Gambar 4.1 <i>Training Window</i> Pada Proses <i>Training</i> Prediksi <i>Hardness</i> Al_2O_3 Dengan <i>Aditive</i> <i>Mullite</i>	54
Gambar 4.2 <i>Training Performance Window</i> Pada Proses <i>Training</i> Prediksi <i>Hardness</i> Al_2O_3 Dengan <i>Aditive Mullite</i>	55
Gambar 4.3 <i>Regression Window</i> Pada Proses <i>Training</i> Prediksi <i>Hardness</i> Al_2O_3 Dengan <i>Aditive Mullite</i>	55
Gambar 4.4 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Suhu Sintering 1300°C	57
Gambar 4.5 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Suhu Sintering 1400°C	58
Gambar 4.6 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Suhu sintering 1500°C	58
Gambar 4.7 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Suhu sintering 1600°C	59
Gambar 4.8 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data Output Jaringan Saraf Tiruan Pada Presentase <i>Aditive Mullite</i> 0%	59
Gambar 4.9 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Presentase <i>Aditive Mullite</i> 10%	60
Gambar 4.10 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan Data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Presentase <i>Aditive Mullite</i> 15%	60
Gambar 4.11 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Presentase <i>Aditive Mullite</i> 20%	61

Gambar 4.12 Perbandingan Data Target <i>Hardness</i> Dan data <i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan Pada <i>Range</i> Presentase <i>Aditive Mullite</i> 25%	61
Gambar 4.13 Nilai <i>output</i> jaringan saraf tiruan mengenai <i>hardness</i> pada seluruh <i>range</i>	61
Gambar 4.14 Nilai <i>output</i> jaringan saraf tiruan mengenai <i>hardness</i> pada seluruh <i>range</i> II	62
Gambar 4.15 Grafik <i>hardness</i> 3D	63
Gambar 4.16 <i>Trainning window</i> pada proses <i>training</i> prediksi <i>flexural strength</i> Al_2O_3 dengan <i>aditive mullite</i>	66
Gambar 4.17 <i>Trainning performance window</i> pada proses <i>training</i> prediksi <i>flexural strength</i> Al_2O_3 dengan <i>aditive mullite</i>	67
Gambar 4.18 <i>Regression window</i> pada proses <i>training</i> prediksi <i>flexural strength</i> Al_2O_3 dengan <i>aditive mullite</i>	67
Gambar 4.19 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> suhu 1300°C sifat mekanik <i>flexural strength</i>	69
Gambar 4.20 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> suhu 1400°C sifat mekanik <i>flexural strength</i>	69
Gambar 4.21 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> suhu 1500°C sifat mekanik <i>flexural strength</i>	70
Gambar 4.22 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> suhu 1600°C sifat mekanik <i>flexural strength</i>	70
Gambar 4.23 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> presentase <i>mullite</i> 0% sifat mekanik <i>flexural strength</i>	71
Gambar 4.24 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> presentase <i>mullite</i> 10% sifat mekanik <i>flexural strength</i>	71

Gambar 4.25	Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> presentase mullite 15% sifat mekanik <i>flexural strength</i>	72
Gambar 4.26	Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> presentase mullite 20% sifat mekanik <i>flexural strength</i>	72
Gambar 4.27	Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data <i>output</i> pada <i>range</i> presentase mullite 25% sifat mekanik <i>flexural strength</i>	73
Gambar 4.28	Nilai <i>output</i> jaringan saraf tiruan mengenai <i>flexural strength</i> pada seluruh <i>range</i>	73
Gambar 4.29	Nilai <i>output</i> jaringan saraf tiruan mengenai <i>flexural strength</i> pada seluruh <i>range</i> II.....	74
Gambar 4.30	Grafik <i>flexural strength</i> 3D	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel perbandingan persentase dominasi ikatan kovalen dengan ikatan ion pada beberapa keramik apabial ditinjau dari segi titik leleh.....	6
Tabel 2.2 <i>Transfer Function</i>	30
Tabel 3.1 <i>Database Matriks Input</i>	35
Tabel 3.2 <i>Database Matriks Input Presentase Aditive Mullite</i>	36
Tabel 3.3 <i>Database Data Target Hardness Al₂O₃ Dengan Aditive Mullite</i>	38
Tabel 3.4 Data <i>Input</i> suhu yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya	40
Tabel 4.1 Tabel karakteristik nilai <i>output</i> jaringan saraf tiruan untuk prediksi <i>hardness</i> Al ₂ O ₃ dengan aditive <i>mullite</i>	57
Tabel 4.2 Bobot Awal Yang Terletak Pada Serabut Saraf di Antara <i>Hidden Node</i> Dengan <i>Output Node</i>	67
Tabel 4.3 Bobot Awal Yang Terletak Pada Serabut Saraf di Antara <i>Bias Node</i> Dengan <i>Hidden Node</i>	89

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Ditinjau dari segi bahasa keramik berasal dari bahasa Yunani *keramikos* yang artinya suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran. Keramik adalah campuran antara elemen *metal* dan *non metal*. Pada umumnya berupa oksida, nitrida dan karbida. Sebagai contoh dari beberapa elemen keramik yang paling umum adalah aluminium oksida (atau alumina Al_2O_3), silikon dioksida (atau silika, SiO_2), silikon karbida (SiC), silikon nitride (Si_3N_4) dan beberapa bagian dari keramik tradisional mineral tanah liat (porselain), dan juga semen serta silikat. Sifat mekanik umum dari keramik adalah kaku dan kuat. Material ini pada umumnya bersifat insulativ pada panas dan listrik. Pada umumnya keramik dibuat dalam bentuk komposit yang terdiri dari *matriks* yang merupakan zat dengan presentase terbesar dan diikuti dengan zat dengan presentase yang lebih kecil yang dinamakan zat *aditive* atau zat *filler*.

Terdapat dua proses paling penting dalam pembuatan keramik saat ini, dimana keramik tersebut diproduksi secara masal dan tidak hanya diterapkan pada sektor tradisional, dua proses tersebut adalah proses penambahan zat *aditive* dan proses pembakaran. Pada umumnya, apabila *presentase* penambahan zat *aditive* ditambah maka sifat mekanik dari keramik juga bertambah, namun grafik yang menjabarkan hubungan penambahan presentase *aditive* terhadap sifat mekanik keramik bukanlah suatu grafik yang linear. Begitu pula hal yang berkaitan dengan suhu pembakaran atau suhu *sintering*, semakin tinggi suhu *sintering* suatu keramik maka akan semakin bagus sifat mekaniknya namun apabila terlalu mendekati titik leleh maka juga akan berakibat sebaliknya, grafik yang dihasilkan juga tidak *linier*. Untuk membuat suatu

keramik diperlukan teknik-teknik yang khusus dan unik. Ditinjau dari sifat tanah liat atau *matriks* keramik yang plastis dimana diperlukan ketrampilan khusus dalam pengolahan maupun penanganannya. Membuat keramik berbeda dengan membuat kerajinan kayu, logam, maupun yang lainnya. Proses membuat keramik adalah rangkaian proses yang panjang yang didalamnya terdapat tahapan-tahapan kritis. Kritis, karena tahapan ini paling beresiko terhadap kegagalan. Tahapan proses dalam membuat keramik saling berkaitan antara satu dengan lainnya. Proses awal yang dikerjakan dengan baik, akan menghasilkan produk yang baik juga. Demikian sebaliknya, kesalahan di tahapan awal proses akan menghasilkan produk yang kurang baik juga.

Tujuan pengolahan bahan ini adalah untuk mengolah bahan baku dari berbagai material yang belum siap pakai menjadi badan keramik plastis yang telah siap pakai. Pengolahan bahan dapat dilakukan dengan metode basah maupun kering, dengan cara manual ataupun masinal. Didalam pengolahan bahan ini ada proses-proses tertentu yang harus dilakukan antara lain pengurangan ukuran butir, penyaringan, pencampuran, pengadukan (*mixing*), dan pengurangan kadar air. Pengurangan ukuran butir dapat dilakukan dengan penumbukan atau penggilingan dengan *ballmill*. Penyaringan dimaksudkan untuk memisahkan material dengan ukuran yang tidak seragam. Ukuran butir biasanya menggunakan ukuran mesh. Ukuran yang lazim digunakan adalah 60 – 100 mesh. Tiap-tiap proses tersebut tentu memerlukan aturan yang *standart*, namun ukuran *standart* dari setiap pembuat keramik tentu berbeda-beda, hal ini ditujukan untuk mendapatkan sifat keramik yang unggul namun menekan biaya produksi sekecil mungkin.

Pada proses pembuatan keramik diperlukan pemanasan dibawah titik leleh dalam rangka membentuk fase kristal baru sesuai dengan yang diinginkan dan bertujuan membantu mereaksikan bahan-bahan penyusun yang dinamakan

sintering. Proses sintering akan berpengaruh cukup besar pada pembentukan fase kristal bahan. Fraksi fase yang terbentuk umumnya bergantung pada lama dan atau suhu sintering. Semakin besar suhu sintering dimungkinkan semakin cepat proses pembentukan kristal tersebut. Besar kecilnya suhu juga berpengaruh pada bentuk serta ukuran celah dan juga berpengaruh pada struktur pertumbuhan kristal.

Selain bahan utama seperti alumina, silikon dioksida, atau silikon karbida pada proses pembuatan keramik juga diperlukan beberapa bahan campuran untuk meningkatkan keunggulan sifatnya seperti mullite. Mullite adalah suatu mineral yang terbentuk dari tanah liat yang dapat memiliki dua bentuk stoikiometri $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ atau $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Penambahan bahan mullite pada umumnya dapat merubah sifat mekanik keramik menjadi lebih baik atau lebih buruk pada presentase tertentu.

Untuk melihat nilai presentase mullite dan suhu sintering yang dapat menghasilkan sifat keramik yang unggul namun membutuhkan biaya produksi yang seminimal mungkin diperlukan eksperimen-eksperimen yang cukup banyak dengan variasi suhu sintering dan variasi presentase mullite yang banyak sehingga membutuhkan banyak waktu dan tentu saja banyak biaya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan suatu simulasi pada komputer menggunakan matlab dengan metode jaringan syaraf tiruan atau yang biasa juga disebut dengan JST.

Oleh sebab itu, dalam tugas akhir ini akan dirancang sebuah sistem prediksi yang akan digunakan untuk mengetahui kondisi perubahan sifat mekanik keramik berdasar variasi suhu sintering dan presentasi *mullite*. Sistem prediksi yang akan dirancang dalam tugas akhir ini menggunakan metode jaringan syaraf tiruan. Kemudian dari hasil perancangan ini akan diadakan validasi untuk mengetahui apakah data yang dihasilkan oleh jaringan syaraf tiruan sesuai dengan data sebenarnya sesuai eksperimen yang telah dilakukan.

1.2 PERMASALAHAN

Dari latar belakang sebelumnya, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu :

1. Bagaimanakah membuat suatu jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk meprediksi sifat mekanik keramik.
2. Berapakah nilai dari presentase aditif dan suhu sintering yang dapat menghasilkan sifat mekanik keramik yang unggul.

1.3 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Metode yang digunakan adalah jaringan saraf tiruan dengan metode pelatihan *lavenberg marquadt*.
2. Data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari jurnal penelitian sebelumnya.
3. Zat *Aditive* yang dipakai adalah *Mullite*

1.4 TUJUAN

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah

1. Menentukan nilai presentase *aditive* dan suhu sintering yang dapat menghasilkan sifat mekanik keramik yang unggul.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Keramik

Keramik adalah material *inorganik* dan *non-metal* yang terbuat dari senyawa metal maupun non metal. Material keramik pada umumnya berupa material kristal secara keseluruhan atau hanya mengandung kristal sebagian. Keramik dibuat dengan aksi pemanasan dan pendinginan^[2]. Tanah liat adalah salah satu material awal yang dipakai untuk membuat keramik sebagai tembikar, tetapi bahan keramik yang dipakai sekarang cukup bervariasi, diaplikasikan pada berbagai sektor seperti domestik, industri, dan produk bangunan. Sifat umum dari material keramik adalah kuat, kaku, getas, tidak reaktif secara kimia, dan insulator listrik serta panas.

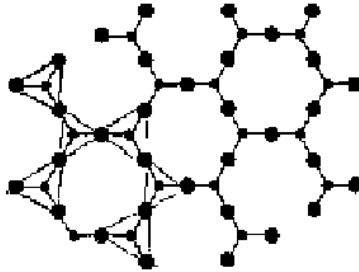
Ditemukan dua jenis ikatan kimia pada keramik, yaitu ikatan ion dan ikatan kovalen, meskipun sering sekali ditemukan dua jenis ikatan tersebut secara langsung dalam suatu keramik, namun tiap ikatan baik itu ikatan ion maupun ikatan kovalen menyebabkan keramik memiliki sifat karakteristik tersendiri. Untuk keramik yang memiliki ikatan ion secara dominan cenderung memiliki titik lebur yang agak tinggi, hal ini disebabkan karena ikatan tersebut kuat dan *non-directional*. Untuk keramik yang memiliki ikatan kovalen yang dominan, didalamnya ditemukan zat *non metal* yang bereaksi dengan zat *non metal*. Tidak seperti ikatan ion yang terjadi karena adanya transfer elektron dari satu zat ke zat pasangannya. Ikatan ini terjadi karena pemakaian elektron bersama antar kedua zat *non metal* yang membentuk ikatan. Apabila dalam suatu material keramik terdapat dua ikatan tersebut secara bersamaan, maka material tersebut akan cenderung lebih cepat untuk retak atau *fracture* sebelum terjadi *plastic deformation* bila dibandingkan yang hanya murni terdapat satu ikatan saja. Apabila ditinjau dari segi titik

lelehnya perbandingan antara domanasi ikatan ion terhadap ikatan kovalen dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

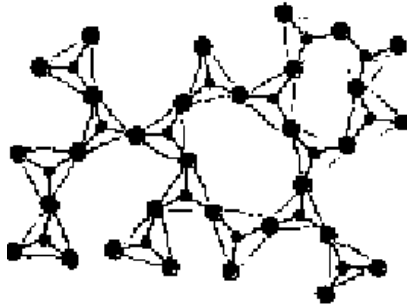
Tabel 2.1 Tabel Perbandingan Persentase Dominasi Ikatan Kovalen Dengan Ikatan Ion Pada Bebrapa Keramik Apabial Ditinjau dari Segi Titik Leleh

Ceramic Compound	Melting Point °C	% Covalent character	% Ionic character
Magnesium Oxide	2798°	27%	73%
Aluminum Oxide	2050°	37%	63%
Silicon Dioxide	1715°	49%	51%
Silicon Nitride	1900°	70%	30%
Silicon Carbide	2500°	89%	11%

Dalam keramik ditemukan keramik yang memiliki struktur kristal dan struktur amorf. Dalam struktur kristal, *lattice point* dibatasi oleh atom atau pun ion yang saling terikat oleh suatu ikatan kimia. Atom-atom atau ion-ion tersebut tersusun secara umum dalam suatu pola tiga dimensi yang berulang-ulang. Sebaliknya pada struktur amorf atom hanya terhubung dengan *range* yang pendek. Beberapa material keramik seperti SiO_2 dapat memiliki kedua struktur tersebut. Stuktur kristal dari SiO_2 terjadi ketika material tersebut didinginkan secara perlahan dari temperatur 1723°C yang merupakan titik leburnya. Pendinginan cepat menyebabkan stuktur SiO_2 menjadi amorf dikarenakan tidak adanya waktu untuk melakukan penyusunan pola ion atau pun atom pada *lattice point*. Pada gambar 2.1 dan 2.2 dibawah ini ditunjukkan gambar perbedaan struktur kristal dan amorf pada material keramik SiO_2 .



Gambar 2.1 Struktur kristal material SiO₂



Gambar 2.2 Struktur amorf material SiO₂

Bahan tradisional keramik yang paling umum dipakai adalah tanah liat, namun kini aluminium oksida yang memiliki rumus kimia Al₂O₃ atau lebih sering dikenal dengan nama alumina juga sering dijadikan bahan dasar keramik. Material keramik *modern* seperti silikon karbida dan tungsten karbida memiliki ketahanan abrasif yang baik. Keramik seperti silikon karbida dan tungsten karbida masuk kedalam sekto keramik *advance* yang juga memiliki aplikasi lain di bidang medis, elektronika, dan industri pesawat terbang^[3].

Sifat umum dari keramik ditentukan langsung oleh struktur kristal dan komposisi kimia. *Solid state chemistry* membuktikan bahwa komeksi antara mikrostruktur dan sifat keramik seperti variasi densitas, distribusi *grain size*,

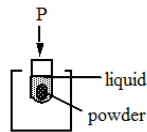
porositas, kandungan fase kedua, *hardness*, *toughness*, *dielectric constant*, dan bahkan *optical properties*. Kondisi mikrostruktur mencakup seperti butiran, fase kedua, batas butir, pori-pori, *microcrack*, *structural defect*, dan *hardness microindentation*. Kondisi-kondisi tersebut cukup mempengaruhi sifat optis, *thermal*, *electrical*, dan magnet. Mikrostruktur juga secara umum mengindikasikan metode fabrikasi dan kondisi ketika proses.

Material ini juga mengalami *plastic deformation* namun dikarenakan *structure* yang kaku dari material kristal, maka hanya ada sedikit ruang atau akan terjadi proses *plastik deformation* yang sangat kecil. Terdapat banyak pori-pori dalam suatu keramik, pori-pori tersebut beserta kecacatan mikro lainnya dapat menjadi suatu *stress concentrator*, mengurangi nilai *toughness* dan *tensile strength*.

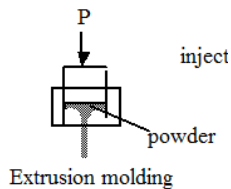
Pada proses pembakaran yang biasa disebut dengan proses sintering terjadilah suatu proses dimana terjadi perubahan struktur mikro seperti pengurangan jumlah pori dan ukuran pori, pertumbuhan butir (*grain growth*), peningkatan densitas, dan penyusutan (*shrinkage*)^[6].

Proses pembuatan keramik dimulai dengan pemilihan bahan baku mentah untuk membuat produk akhir. Pemrosesan selanjutnya bergantung pada jenis dari keramik yang akan dibuat, apakah akan membuat keramik kristal atau amorf. Untuk keramik kristal, karakteristik dari bahan baku mentah seperti ukuran partikel dan kemurnian sangatlah penting untuk mempengaruhi struktur akhir seperti misalnya ukuran butir, dan juga mempengaruhi kekuatan dari produk akhir. Dikarenakan kekuatan bertambah seiring dengan berkurangnya ukuran butiran, kebanyakan bahan baku mentah harus digiling atau *milled* terlebih dahulu untuk menghasilkan bahan baku dalam bentuk bubuk dengan diameter $< 1 \mu\text{m}$. Tentu saja untuk membantu pembentukan wujud (*shaping*) dari bubuk tersebut dibutuhkan bahan baku lain seperti air, polimer, atau zat lainnya untuk menambah sifat plastis

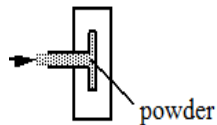
mereka. Langkah kedua sering disebut dengan *consolidation*, yaitu proses pembentukan keramik menjadi memiliki wujud (*shape*) tertentu. Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk langkah ini antara lain *rubber mold pestle*, *extrusion molding*, *injection molding*, *die pressing*, dan *slip casting*.



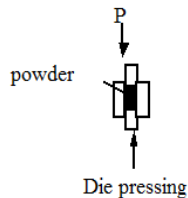
Gambar 2.3 *Rubber mold pestle*



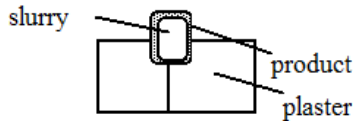
Gambar 2.4 *Extrusion molding*



Gambar 2.5 *Injection molding*



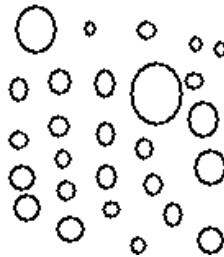
Gambar 2.6 *Die pressing*



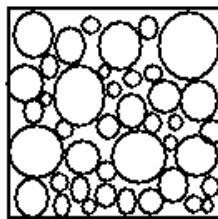
Slip casting

Gambar 2.7 *Slip casting*

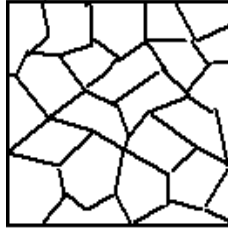
Proses terakhir adalah proses sintering. Sintering pada suhu yang tinggi, antara 800°C hingga 1800°C menyebabkan densifikasi yang akan memberikan produk keramik kekuatan dan sifat-sifat lainnya. Selama proses ini partikel dalam keramik bergabung menjadi suatu jaringan *solid* yang *continuous* dan jumlah pori-pori terus dikurangi. Secara umum, mikrostruktur dari produk akhir yang telah disintering mengandung butir-butir yang cukup padat.



Gambar 2.8 Mikrostruktur bahan baku mentah



Gambar 2.9 Mikrostruktur keramik ketika *consolidation*



Gambar 2.10 Mikrostruktur keramik setelah *sintering*

Untuk proses pembuatan keramik dengan struktur amorf berbeda dengan keramik struktur kristal. Hal yang paling mendasar dari perbedaan tersebut adalah pemadatan dari struktur keramik amorf, keramik dengan struktur amorf dibuat dengan proses *quenching* yang sangat cepat, sehingga tidak ada waktu untuk ion atau pun atom untuk bergerak membentuk keramik struktur kristal. Pada proses pembuatan keramik dengan struktur amorf apabila keramik tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu di antara *glass transition temperature* dengan *melting point* maka pada kondisi tersebutlah keramik dapat dibentuk wujudnya. Selama proses pembentukan keramik struktur amorf, akan ada *stress* yang ditampilkan oleh proses pendinginan yang cepat atau *special treatment* lainnya. Misalnya saja *tempering*, yaitu proses ketika keramik kembali dipanaskan lagi dan didinginkan dalam suatu minyak atau semburan udara, hal ini akan mengakibatkan perbedaan kondisi antara *internal* dan *external* keramik. *Tempering* juga membuat keramik struktur amorf menjadi lebih sulit untuk pecah.

Sifat mekanik dari keramik pada umumnya tidak ditentukan menggunakan uji tarik, hal tersebut antara lain dikarenakan cukup sulit untuk menyiapkan dan mengetes suatu *specimen* dengan bentuk geometri yang spesifik, sulit untuk mencekeram material *brittle* tanpa membuat material

tersebut retak. Beberapa uji mekanik yang dilakukan pada material keramik antara lain *bend test* dan *hardness test*. Dalam *bend test* dikenal beberapa istilah seperti *flexural strength* yang dikenal juga dengan istilah *modulus of rupture* merupakan besar *stress* yang dibutuhkan untuk membuat suatu *specimen* menjadi retak ketika dilakukan *bend test*. *Flexural modulus* adalah *modulus of elasticity* yang didapat dari hasil *bend test*, serta menyajikan suatu kurva hubungan antara *stress* terhadap *deflection*. Definisi umum dari *hardness test* adalah pengukuran ketahanan suatu material terhadap suatu penetrasi oleh suatu obyek yang memiliki bentuk tertentu. Jenis-jenis dari *hardness test* antara lain *makrohardness*, yaitu total *hardness* material yang diukur menggunakan beban penekan sebesar lebih dari 2 N. *Microhardness* yaitu *hardness* material yang terukur menggunakan beban kurang dari 2 N. *Nanohardness* adalah *hardness* material yang terukur ketika material tersebut memiliki *range* panjang sebesar 1-10 nm menggunakan gaya tekan yang sangat kecil, yaitu sebesar 100 μ N.

Metode-metode yang digunakan untuk uji kekerasan antara lain adalah *rockwell*, *brinell*, dan *vickers*. Ketiga cara tersebut adalah berdasarkan pada cara penekanannya (*indentation*) suatu benda yang tidak terdeformasi kedalam permukaan material yang tengah diuji (*specimen*) kekerasannya, sehingga mengakibatkan terjadinya suatu bekas penekanan (lekukan) yang kemudian dijadikan dasar untuk penilaian kekerasannya. Penekanan dilakukan sampai lekukan yang bersifat tetap. Material yang diuji akan lebih keras bila bekas yang terjadi lebih kecil.

Uji kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* ini didasarkan kepada penekanan dari suatu indentor dengan suatu force tertentu kepermukaan yang rata dan bersih dari suatu material yang tengah diuji kekerasannya. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya minor maka yang dijadikan dasar perhitungan untuk nilai kekerasan *rockwell* bukanlah hasil

pengukuran dari diameter ataupun diagonal bekas lekukan melainkan dalamnya bekas lekukan yang terjadi itu. Hal tersebutlah yang membedakan cara *rockwell* apabila dibandingkan dengan tata cara pengujian kekerasan yang ada lainnya.

Uji kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* ini didasarkan kepada penekanan dari suatu *indentor* yang melakukan suatu *force* untuk menekan ke arah permukaan dari suatu material yang tengah diuji kekerasannya yang telah dibuat menjadi rata dan bersih. Setelah gaya tekan dikembalikan ke gaya minor maka yang dijadikan dasar perhitungan untuk nilai kekerasan *rockwell* bukanlah hasil pengukuran dari diameter ataupun diagonal bekas lekukan melainkan dalamnya bekas lekukan yang terjadi itu. Hal tersebutlah yang membedakan cara *rockwell* apabila dibandingkan dengan tata cara pengujian kekerasan yang ada lainnya

Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *rockwell* yang pada umumnya sering digunakan ada ke jenis yaitu HRA, HRB, dan HRC. HR adalah sebuah kependekan dari kekerasan *rockwell* atau *rockwell hardness number* dan terkadang hanya disingkat dengan menggunakan huruf R saja. Uji *rockwell hardness* ini dilakukan sesuai standar DIN 50103. Tingkat dari skala kekerasan menurut metode *rockwell* adalah berdasarkan pada jenis indentor yang digunakan pada masing-masing skala. Dalam metode *rockwell* ini terdapat dua macam *indentor* yang ukurannya bervariasi, kedua jenis indentor itu adalah kerucut intan yang mempunyai sudut sebesar 120^0 , sering pula disebut dengan istilah “*Rockwell cone*”, serta bola baja yang memiliki berbagai ukuran, sering pula disebut dengan istilah “*Rockwell*”.

Untuk cara pemakaian skala ini, lebih dahulu ditentukan dan dipilih ketentuan angka kekerasan maksimum yang boleh digunakan oleh skala tertentu. Jika pada skala tertentu tidak tercapai angka kekerasan yang akurat, maka kita tentukan

skala lain yang dapat menunjukan angka kekerasan yang jelas. Sebagaimana rumus tertentu, maka skala memiliki standar atau acuan.

Untuk mendapatkan nilai HRB harus menggunakan sebuah *indentor* berupa bola baja yang disepuh dengan ukuran $\varnothing 1/16''$ dan ini digunakan untuk jenis logam yang tidak mendapatkan perlakuan pengerasan sebelumnya (sepuh) dan untuk semua jenis *non-ferrous* dalam kondisi padat. Sedangkan untuk mendapatkan nilai HRC digunakan sebuah indentor kerucut *diamond* yang memiliki sudut puncak 120o yang ujungnya dibundarkan dengan jari-jari 0,2 mm dan dipakai untuk menentukan kekerasan baja-baja yang telah dikeraskan. Kerucut *diamond* biasa disebut juga "*brale*".

Pengujian kekerasan dengan metode *brinell* dilakukan dengan cara sebuah bola baja yang ditekan yang terbuat dari baja chrom yang telah dikeraskan dengan diameter tertentu, oleh gaya tekan secara statis kedalam permukaan logam yang diuji harus rata dan bersih. Setelah gaya tekan dihilangkan dan bola baja diangkat dari bekas lekukan, maka diameter paling atas dari lekukan tadi diukur secara teliti untuk kemudian dipakai untuk penentuan kekerasan material yang diuji dengan memakai persamaan :

Mesin uji kekerasan *rockwell* (*rockwell hardness test*) harus dipelajari dulu secara seksama. Mesin yang ada merupakan mesin yang digunakan untuk uji *rockwell* HRA, HRB, HRC, HRD, HRF, HRG selanjutnya sebelum dimulai pengujian indetor harus dipasang terlebih dahulu sesuai dengan jenis pengujian yang diperlukan baik itu indetor bola baja maupun kerucut *diamond*. Setelah indetor terpasang, letakan specimen yang akan diuji kekerasannya ditempat yang tersedia dan menyetel beban yang akan digunakan untuk proses penekanan. Nilai kekerasan dapat dilihat pada jarum yang terpasang pada alat ukur berupa *dial indicator pointer*.

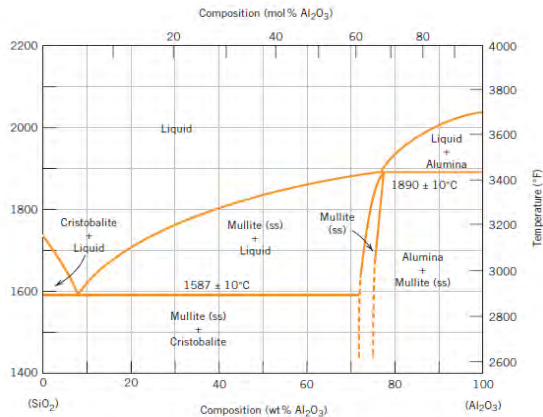
Untuk pengujian dengan metode *vickers* didasarkan kepada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah

indentor berupa pyramid *diamond* terbalik yang memiliki sudut puncak kepermukaan logam yang diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih.

Setelah gaya tekan secara statis ini kemudian diiadakan dan *pyramid diamond* dikeluarkan dari bekas yang terjadi (permukaan bekas merupakan segi empat karena piramida merupakan piramida sama sisi), maka diagonal segi empat bekas teratas diukur secara teliti untuk kemudian digunakan sebagai kekerasan logam yang diuji. Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *vickers* yang biasa disingkat dengan Hv atau HVN (*Vicker Hardness Number*).

Mesin percobaan kekerasan *vickers* (*vickers hardness test*) harus dipelajari dulu. Maka dari itu hal yang penting dipelajari adalah bagaimana menggunakan alat uji kekerasan *vickers* ini, dalam hal memasang *indentor pyramid diamond*, meletakkan *specimen* di tempatnya, menyetel beban yang akan dipakai, melihat dan mengukur diagonal persegi empat teratas dari bekas yang terjadi setelah mungkin.

Pada komposit keramik, *mullite* atau $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ adalah satu zat *aditive* yang cukup sering digunakan. Dari gambar diagram fasa menunjukkan bahwa *mullite* memiliki komposisi sekitar 60% sampai 63% mole Al_2O_3 dan sekitar 37% sampai 40% mole SiO_2 serta memiliki titik lebur sekitar 1840°C . *Mullite* sangat tahan suhu tinggi sampai mendekati titik leburnya, serta memiliki densitas $3,16 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ sampai $3,22 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, koefisien termal ekspansi cukup rendah yaitu $4,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, tahan terhadap kejutan suhu, dan tahan terhadap bahan kimia^[5].



Gambar 2.11 Diagram fasa Al_2O_3 - SiO_2

2.2 Jaringan Saraf Tiruan

2.2.1 Jaringan Saraf Biologi

Otak manusia tersusun atas sel-sel saraf atau *neuron-neuron* yang membentuk jaringan. Sekumpulan *neuron* (saraf) yang saling terhubung ini berfungsi untuk memberikan sebuah tanggapan atas sebuah rangsangan yang mengenainya. Setiap rangsangan memiliki tanggapan-tanggapan tersendiri dari sebuah *neuron* tersebut terhadap jenis rangsangan yang mengenainya.^[5]

Sebuah *neuron* memiliki 3 tipe komponen yaitu *dendrit* (bagian yang menerima rangsang dari axon), *soma* (badan sel saraf) dan *axon* (bagian sel yang berhubungan dengan *dendrit* sel saraf lain dan membentuk simpul yang disebut sinapsis). *Dendrit* dapat menerima banyak sinyal dari *neuron* lain. Sinyal adalah impuls listrik yang dipancarkan menyebrangi celah sinapsis yang disebabkan proses kimia. Tindakan dari pancaran proses kimia mengubah sinyal yang datang (secara khas, dengan penskalaan frekuensi sinyal yang diterima).

Proses tersebut sama dengan sifat bobot dalam jaringan saraf tiruan.

Soma, atau badan sel menjumlahkan sinyal yang datang. Ketika masukan cukup diterima, sel menjadi aktif, saat itulah sel mengirimkan sinyal melalui *axon*nya ke sel lain. Kejadian ini menimbulkan anggapan bahwa setiap sel saraf berada dalam keadaan aktif atau tidak aktif, pada setiap satuan waktu. Sehingga pengiriman sinyal dikenali sebagai kode biner. Kenyataannya, frekuensi dari keadaan aktif bervariasi, sesuai dengan kekuatan sinyal yakni kuat atau lemah magnitudenya. Pencocokan dengan kode biner ini dilakukan untuk menentukan tahap-tahap dalam tiap waktu diskrit dan menjumlahkan semua aktivitas (sinyal diterima atau dikirim) pada tahap tertentu berdasarkan satuan waktu.

Transmisi sinyal dari *neuron* tertentu disempurnakan dengan hasil kerja energi potensial *neuron* yang disebabkan perbedaan konsentrasi ion-ion dari setiap sisi sarung pelindung *axon neuron* (sumsum otak manusia). Ion-ion kebanyakan secara langsung melibatkan zat-zat potasium, sodium dan klorida.

Beberapa fitur penting proses elemen dari jaringan saraf tiruan yang berasal dari cara kerja jaringan saraf biologi:

- a. Elemen pemroses menerima beberapa sinyal.
- b. Sinyal memungkinkan dimodifikasi oleh bobot pada sinapsis penerima.
- c. Elemen pemroses menjumlahkan bobot *input*.
- d. Dalam lingkungan yang sesuai (jumlah *input* yang sesuai), *neuron* mengirimkan *output* tunggal.
- e. *Output* dari *neuron* khusus memungkinkan dipindahkan ke beberapa *neuron* lain (melalui cabang *axon*).

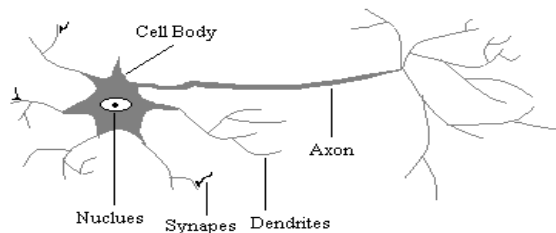
Beberapa fitur jaringan saraf tiruan yang dipelajari dari *neuron* biologi :

- a. Pemrosesan informasi bersifat lokal (meskipun cara berbeda dalam proses transmisi, seperti aksi beberapa hormon, memungkinkan penganturan cara control proses yang bersifat keseluruhan).
- b. Memori terdistribusi :
 1. Memori yang berjangka panjang berada dalam sinapsis *neuron* atau bobot.
 2. Memori jangka pendek merespon sinyal kiriman oleh *neuron*.
- c. Kekuatan sinapsis dapat dimodifikasi oleh pengalaman.
- d. *Neuron* pengirim untuk sinapsis mungkin bersifat pengekstisasi atau penghambat.

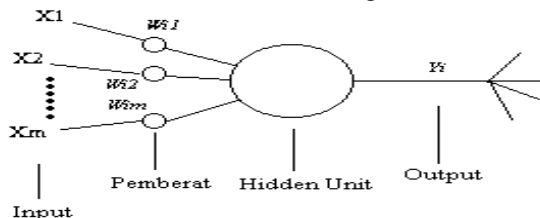
Karakteristik penting lain jaringan saraf tiruan yang merupakan bagian dari sistem saraf biologi adalah toleransi kesalahan/kekurangan data. Sistem saraf biologi memiliki toleransi kesalahan dalam 2 aspek :

- a. Dapat mengenali banyak input sinyal yang beberapa diantaranya berbeda dengan yang pernah dikenali sebelumnya. Sebagai contoh kemampuan manusia untuk mengenali seseorang dari suatu gambaran atau mengenali seseorang setelah periode yang lama.
- b. Dapat menerima kerusakan ke dalam sistem saraf itu sendiri.

Manusia memiliki lebih dari 100 trilyun *neuron*. Kebanyakan diantaranya berada di otak. Jika terjadi kerusakan pada salah satu bagian, maka akan memungkinkan bagian lain akan menjalankan fungsi dari *neuron* yang rusak. Adapun perbandingan kedua jaringan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.12 dan gambar 2.13.



Gambar 2.12 *Neuron Biologis*^[2]



Gambar 2.13 *Neuron Buatan*^[2]

2.2.2 Definisi Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf merupakan representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran otak manusia tersebut. Istilah buatan digunakan karena jaringan saraf di implementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran.

Jaringan saraf tiruan merupakan sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik kemampuan yang secara umum mirip dengan jaringan saraf biologi. Jaringan saraf tiruan telah dikembangkan sebagai turunan model matematika dari kesadaran manusia atau saraf biologis, karena berdasar pada asumsi bahwa:

- a. Pemrosesan informasi terjadi pada beberapa elemen sederhana yang disebut *neuron*.

- b. Sinyal lewat diantara *neuron* menciptakan jaringan koneksi.
- c. Setiap koneksi penghubung memiliki bobot yang terhubung, yang dalam jaringan saraf tertentu mengalirkan sinyal yang ditransmisikan.
- d. Setiap *neuron* mempunyai fungsi aktivasi (biasanya non linier) pada jaringan *inputnya* (jumlah dari bobot sinyal *input*) untuk menentukan sinyal *outputnya*.

Karakteristik dari jaringan saraf tiruan adalah :

- A. Pola hubungan antar *neuron* (yang menjadi arsitekturnya).
- B. Metode penentuan bobot dalam koneksi (disebut sebagai proses latihan, pembelajaran, atau Algoritma).
- C. Fungsi aktivasi

Jaringan saraf biologis terdiri atas sel-sel yang disebut *neuron*. Pada jaringan saraf tiruan, juga terdapat istilah *neuron* atau sering disebut unit, sel, *node*. Setiap *neuron* terhubung dengan *neuron-neuron* yang lain melalui *layer* dengan bobot tertentu. Bobot disini melambangkan informasi yang digunakan oleh jaringan untuk menyelesaikan persoalan. Pada jaringan saraf biologis, bobot tersebut dapat dianalogikan dengan aksi pada proses kimia yang terjadi pada *synaptic gap*. Sedangkan *neuron* mempunyai *internal state* yang disebut aktivasi. Aktivasi merupakan fungsi dari *input* yang diterima. Suatu *neuron* akan mengirimkan sinyal ke *neuron-neuron* yang lain, tetapi pada suatu saat hanya ada satu sinyal yang dikeluarkan walaupun sinyal tersebut ditransmisikan ke beberapa *neuron* yang lain. Sistem jaringan saraf banyak digunakan dalam berbagai bidang antara lain kedokteran, bisnis, keuangan, maupun elektronika termasuk pemrosesan sinyal dan sistem kontrol.

Suatu jaringan saraf tiruan memproses sejumlah besar informasi secara paralel dan terdistribusi, hal ini terinspirasi oleh model kerja otak biologis. Beberapa definisi tentang jaringan saraf tiruan adalah sebagai berikut di bawah ini.

Suatu jaringan saraf tiruan memproses sejumlah besar informasi secara paralel dan terdistribusi, hal ini terinspirasi oleh model kerja otak biologis. Beberapa definisi tentang jaringan saraf tiruan adalah sebagai berikut di bawah ini.

Hecht-Nielsen (1988) mendefinisikan sistem saraf buatan sebagai berikut:

"Suatu neural network (NN), adalah suatu struktur pemroses informasi yang terdistribusi dan bekerja secara paralel, yang terdiri atas elemen pemroses (yang memiliki memori lokal dan beroperasi dengan informasi lokal) yang diinterkoneksi bersama dengan alur sinyal searah yang disebut koneksi. Setiap elemen pemroses memiliki koneksi keluaran tunggal yang bercabang (*fan out*) ke sejumlah koneksi kolateral yang diinginkan (setiap koneksi membawa sinyal yang sama dari keluaran elemen pemroses tersebut). Keluaran dari elemen pemroses tersebut dapat merupakan sebarang jenis persamaan matematis yang diinginkan. Seluruh proses yang berlangsung pada setiap elemen pemroses harus benar-benar dilakukan secara lokal, yaitu keluaran hanya bergantung pada nilai masukan pada saat itu yang diperoleh melalui koneksi dan nilai yang tersimpan dalam memori lokal".

Menurut Haykin, S. (1994), *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, NY, Macmillan, mendefinisikan jaringan saraf sebagai berikut:

"Sebuah jaringan saraf adalah sebuah prosesor yang terdistribusi paralel dan mempunyai kecenderungan untuk menyimpan pengetahuan yang didapatkannya dari pengalaman dan membuatnya tetap tersedia untuk digunakan. Hal ini menyerupai kerja otak dalam dua hal yaitu: 1. Pengetahuan diperoleh oleh jaringan melalui suatu proses belajar. 2.

Kekuatan hubungan antar sel saraf yang dikenal dengan bobot sinapsis digunakan untuk menyimpan pengetahuan.

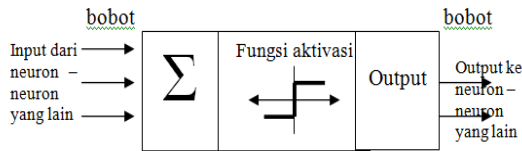
Dan menurut Zurada, J.M. (1992), *Introduction To Artificial Neural Systems*, Boston: PWS Publishing Company, mendefinisikan sebagai berikut :“Sistem saraf tiruan atau jaringan saraf tiruan adalah sistem selular fisik yang dapat memperoleh, menyimpan dan menggunakan pengetahuan yang didapatkan dari pengalaman”.

DARPA Neural Network Study (1988, AFCEA International Press, p. 60) mendefinisikan jaringan saraf buatan sebagai berikut :

Sebuah jaringan saraf adalah sebuah sistem yang dibentuk dari sejumlah elemen pemroses sederhana yang bekerja secara paralel dimana fungsinya ditentukan oleh struktur jaringan, kekuatan hubungan, dan pengolahan dilakukan pada komputasi elemen atau nodes.

2.2.3 Komponen Jaringan Syaraf Tiruan

Ada beberapa tipe jaringan saraf, tetapi hampir semuanya memiliki komponen-komponen yang sama. Seperti halnya otak manusia, jaringan saraf juga terdiri dari beberapa *neuron*, dan ada hubungan antara *neuron-neuron* tersebut. *Neuron-neuron* tersebut akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarnya menuju ke *neuron-neuron* yang lain. Pada jaringan saraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut disimpan pada nilai tertentu pada bobot tersebut. Pada gambar 2.3 menunjukkan struktur *neuron* pada jaringan saraf.



Gambar 2.14 Struktur *neuron* jaringan saraf^[2]

Jika kita lihat, *neuron* buatan ini sebenarnya mirip dengan sel *neuron* biologis. *Neuron-neuron* buatan tersebut mempunyai cara kerja yang sama pula dengan *neuron - neuron* biologis. Informasi (disebut: *input*) akan dikirim *neuron* dengan bobot kedatangan tertentu. *Input* ini akan diproses suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang. Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai *ambang* (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap *neuron*. Apabila *input* tersebut melewati suatu nilai *ambang* tertentu, maka *neuron* tersebut akan diaktifkan, tetapi kalau tidak, *neuron* tersebut tidak akan diaktifkan. Apabila *neuron* tersebut diaktifkan, maka *neuron* tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *output*nya ke semua *neuron* yang berhubungan dengannya.

Pada jaringan saraf, *neuron-neuron* akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan (*layer*) yang disebut dengan lapisan *neuron* (*neuron layers*). Biasanya *neuron-neuron* pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan-lapisan sebelum dan sesudahnya (kecuali lapisan *input* dan lapisan *output*). Informasi yang diberikan pada jaringan saraf akan dirambatkan dari lapisan ke lapisan, mulai dari lapisan *input* sampai ke lapisan *output* melalui lapisan yang lainnya, yang sering dikenal dengan nama lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Tergantung pada algoritma pembelajarannya, bisa jadi informasi tersebut akan dirambatkan secara mundur pada jaringan. Beberapa jaringan saraf ada juga yang tidak memiliki

lapisan tersembunyi, dan ada juga jaringan saraf dimana *neuron–neuronnya* disusun dalam bentuk matriks.

2.2.4 Bentuk Dan Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Pada umumnya *neuron* yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan sama. Faktor terpenting dalam menentukan kelakuan suatu *neuron* adalah fungsi aktivasi dan pola bobotnya. Pada setiap lapisan yang sama, *neuron–neuron* akan memiliki fungsi aktivasi yang sama. Apabila *neuron–neuron* dalam suatu lapisan (misalkan lapisan tersembunyi) akan dihubungkan dengan *neuron–neuron* pada lapisan yang lain (misalkan lapisan *output*), maka setiap *neuron* pada lapisan tersebut (misalkan lapisan tersembunyi) juga harus dihubungkan dengan lapisan lainnya (misalkan lapisan *output*). Ada beberapa bentuk arsitektur jaringan saraf, antara lain:

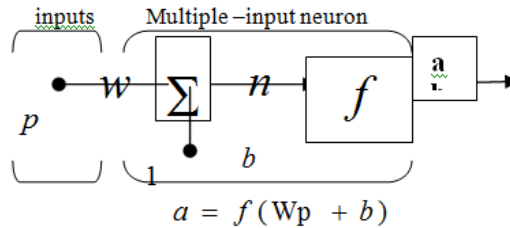
2.2.4.1 Jaringan Dengan Lapisan Tunggal (*Single Layer Net*)

Jaringan ini hanya memiliki satu lapisan dengan bobot–bobot terhubung. Jaringan ini menerima *input* yang kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.4.

Sebuah neuron berinput tunggal diperlihatkan pada gambar 4. Input skalar p dikalikan dengan skalar *weight* w untuk kondisi (bentuk) wp , salah bentuk ini yang dikirim ke dalam penjumlah. Input yang lain, 1, adalah dikalikan dengan *bias* b dan dilewatkan ke dalam penjumlah. Output dari penjumlah n sering kali digunakan sebagai input *net*, yang berjalan ke dalam fungsi transfer f , yang menghasilkan output neuron skalar a . (“fungsi aktivasi” disebut juga *fungsi transfer* dan “offset” disebut juga *bias*).

Bobot w berhubungan dengan sebuah kekuatan gabungan dari sel badan yang direpresentasikan dengan penjumlahandan

fungsi transfer, dan output neuron a menggambarkan signal dalam axon



Gambar 2.4 Neuron berinput tunggal^[3]

Output neuron dihitung sebagai berikut :

$$a = f(wp+b) \quad (2.1)$$

Jika untuk sesaat,

$w = 3$, $p = 2$ dan $b = -1.5$, kemudian

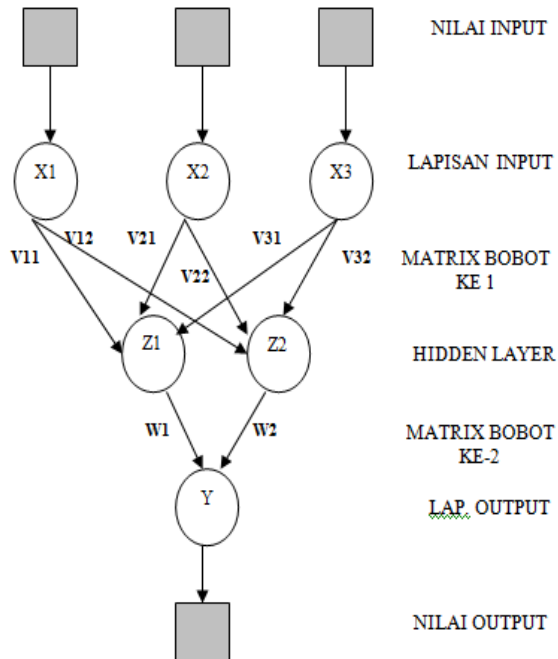
$$a = f(3(2)-1.5) = f(4.5) \quad (2.2)$$

Output nyata bergantung pada fakta-fakta fungsi transfer yang dipilih. Kita akan mendiskusikan transfer fungsi dalam bagian berikutnya.

Bias lebih mirip dengan bobot, kecuali jika mempunyai input konstan 1. Akan tetapi, jika kita tidak menginginkan bias di dalam sebuah bagian neuron, bias ini bisa diabaikan. Penting untuk w dan b diatur keduanya dalam bentuk neuron berparameter skalar. Biasanya fungsi transfer dipilih oleh desainer dan kemudian parameter w dan b akan diatur oleh beberapa peraturan pelatihan jadi neuron input atau output yang saling berhubungan ditetapkan terlebih dahulu dengan spesifik tujuan (*goal*).

2.2.4.2 Jaringan Dengan Banyak Lapisan (*Multilayer*)

Jaringan ini memiliki satu atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output*nya (memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi). Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit dari pada jaringan dengan lapisan tunggal, tetapi pembelajarannya lebih rumit. Jaringan ini pada banyak kasus lebih sukses dalam menyelesaikan masalah. Pada gambar 2.5 menunjukkan jaringan saraf *multilayer*.



Gambar 2.6 Jaringan saraf *multilayer*^[3]

2.5 Fungsi Aktivasi

Ada beberapa fungsi aktivasi yang sering digunakan dalam jaringan saraf tiruan, antara lain:

2.5.1 Fungsi Identitas

Operasi dasar dari jaringan saraf tiruan adalah menjumlahkan sinyal *input* yang memiliki bobot tertentu dan kemudian menghasilkan *output* dengan melalui fungsi aktivasi. Untuk unit *input* fungsi aktivasi yang cukup umum dipakai adalah fungsi identitas. Fungsi aktivasi yang sama dapat dipakai pada seluruh *layer* pada jaringan saraf tiruan. Kebanyakan fungsi aktivasi yang dipakai adalah fungsi aktivasi *nonlinear* karena pada jaringan dengan lapisan *layer* yang lebih dari dua, apabila hanya menggunakan fungsi aktivasi *linear* maka akan membuat hasil *output* tidak jauh beda dengan menggunakan jaringan *single layer*.

$$f(x) = x \text{ untuk seluruh nilai } x \quad (2.3)$$

2.5.2 Binary step function

Jaringan *single layer* sering memakai fungsi *step* untuk mengkonversikan fungsi input, yang pada umumnya sangat bervariasi, menjadi suatu *output* biner yang bernilai 1 atau 0 atau bipolar yang bernilai 1 atau -1. *Binary step function* juga disebut sebagai *threshold function* atau *heaviside function*.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{jika } x \geq \theta \\ 0 & \text{jika } x < \theta \end{cases} \quad (2.4)$$

2.5.3 Binary Sigmoid Function

Sigmoid function sangat berguna dipakai sebagai fungsi aktivasi. Fungsi logistik dan *hyperbolic tangent function* adalah yang paling umum. Pada umumnya dipakai di jaringan saraf tiruan dengan arsitektur *backpropagation*, karena hubungan sederhana antara nilai dari fungsi pada *point* dan nilai turunan pada *point* mengurangi beban selama pelatihan. Fungsi logistik, sebuah fungsi dengan *range* 0 hingga 1. *Logistic sigmoid function* dapat diskala hingga memiliki beberapa nilai *output*.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\sigma)} \quad (2.5)$$

$$f'(x) = \sigma f(x) [1 - f(x)] \quad (2.6)$$

2.5.4 Bipolar Sigmoid Function

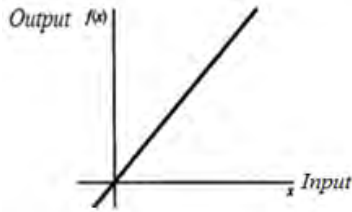
Apabila suatu fungsi aktivasi memiliki sifat sama dengan *binary sigmoid function*, namun memiliki nilai *input* dengan *range* -1 hingga 1. Maka fungsi tersebut disebut dengan *bipolar sigmoid function*. *Bipolar sigmoid function* memiliki kemiripan juga dengan *hyperbolic tangent function* yang juga memiliki nilai *output* antara -1 dan 1. Persamaan dari *bipolar sigmoid function* dapat dilihat pada persamaan 2.5. Persamaan dari *hyperbolic tangent function* dapat dilihat pada persamaan 2.7. Untuk data biner, akan lebih baik bila dikonversikan ke bentuk bipolar dan menggunakan *bipolar sigmoid* atau *hyperbolic tangent*.

$$g(x) = \frac{1 - \exp(-\sigma x)}{1 + \exp(-\sigma x)} \quad (2.7)$$

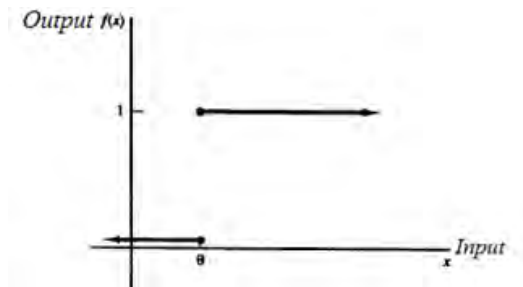
$$g'(x) = \frac{\sigma}{2} [1 + g(x)][1 - g(x)] \quad (2.8)$$

$$h(x) = \frac{1 - \exp(-2\sigma x)}{1 + \exp(-2\sigma x)} \quad (2.9)$$

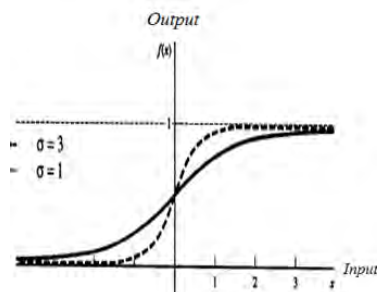
$$h'(x) = [1 + h(x)][1 - h(x)] \quad (2.10)$$



Gambar 2.7 Fungsi identitas



Gambar 2.8 Binary step function



Gambar 2.9 Binary sigmoid function

Tabel 2.2 Transfer Function

Name	Input / Output Relasi	Symbol	Fungsi Matlab
Hard limit	$a = 0 \quad n < 0$ $a = 1 \quad n \geq 0$		Hardlim
Symetrical hard limit	$a = -1 \quad n < 0$ $a = +1 \quad n \geq 0$		Hardlim
Linier	$a = n$		Purelin
Saturating linier	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		satlin
Simetris saturating linier	$a = n \quad -1 \leq n \leq 1$ $a = 1 \quad n > 1$		Satlin
Log sigmoid	$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$		Logsig
Hyperbolic tangent sigmoid	$a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$		Tansig
Positive linier	$a = 0 \quad n < 0$ $a = n \quad 0 \leq n$		Poslin
Competitive	$a = 1 \quad \text{neuron with max } n$ $a = 0 \quad \text{all other neurons}$		compet

Seluruh fungsi transfer yang telah dijabarkan di atas adalah fungsi transfer yang biasa dipakai untuk menjembatani tiap *layer* pada jaringan saraf tiruan.

2.6 Proses Pembelajaran

Pada otak manusia, informasi yang dilewatkan dari satu *neuron* ke *neuron* yang lainnya berbentuk rangsangan listrik melalui *dendrit*. Jika rangsangan tersebut diterima oleh suatu *neuron*, maka *neuron* tersebut akan membangkitkan *output* ke semua *neuron* yang berhubungan dengannya sampai *neuron* tersebut sampai ke tujuannya yaitu terjadinya suatu reaksi. Jika rangsangan yang diterima terlalu halus, maka *output* yang dibangkitkan oleh *neuron* tersebut tidak akan direspon. Tentu sangatlah sulit memahami bagaimana otak manusia itu belajar. Selama proses pembelajaran, terjadi perubahan yang cukup berarti pada bobot–bobot yang menghubungkan antar *neuron*. Apabila ada rangsangan yang sama yang diterima oleh *neuron*, maka *neuron* akan memberikan reaksi dengan cepat. Tetapi, apabila nantinya ada rangsangan yang berbeda dengan apa yang diterima oleh *neuron*, maka *neuron* akan beradaptasi untuk memberikan reaksi yang sesuai.

Jaringan saraf akan mencoba mensimulasikan kemampuan otak manusia untuk belajar. Jaringan saraf tiruan juga tersusun atas *neuron* dan *dendrit*. Tidak seperti model biologis, jaringan saraf memiliki struktur yang tidak dapat diubah, dibangun oleh sejumlah *neuron*, dan memiliki nilai tertentu yang menunjukkan seberapa besar koneksi antar *neuron* (dikenal dengan nama bobot). Perubahan yang terjadi selama pembelajaran adalah perubahan nilai bobot. Nilai bobot akan bertambah, jika informasi yang diberikan oleh *neuron* yang bersangkutan tersampaikan, sebaliknya jika tidak disampaikan oleh suatu *neuron* ke *neuron* yang lain, maka nilai bobot yang menghubungkan keduanya akan dikurangi. Pada saat pembelajaran dilakukan pada *input* yang berbeda, maka nilai bobot akan diubah secara dinamis hingga mencapai nilai yang cukup seimbang. Apabila nilai ini telah tercapai yang mengindikasikan bahwa tiap–tiap *input* telah berhubungan dengan *output* yang diharapkan. Ada beberapa

metode untuk proses pembelajaran pada jaringan saraf tiruan ini, diantaranya :

2.6.1 Pembelajaran Terawasi (*Supervised Learning*)

Metode pembelajaran jaringan saraf disebut terawasi jika *output* yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Pada proses pembelajaran, satu pola *input* akan diberikan ke satu *neuron* pada lapisan *input*. Pola ini akan dirambatkan disepanjang jaringan saraf hingga sampai ke *neuron* pada lapisan *output*. Lapisan *output* ini akan membangkitkan pola *output* yang nantinya akan dicocokkan dengan pola *output* targetnya. Apabila terjadi perbedaan antara *output* hasil pembelajaran dengan pola target, maka disini akan muncul *error*. Apabila *error* ini masih cukup besar, mengindikasikan bahwa masih perlu dilakukan lebih banyak pembelajaran lagi.

2.6.2 Pembelajaran Tak Terawasi (*Unsupervised Learning*)

Pada metode pembelajaran yang tak terawasi ini, tidak memerlukan target *output*. Pada metode ini, tidak dapat ditentukan hasil seperti apakah yang diharapkan selama proses pembelajaran. Selama proses pembelajaran, nilai bobot disusun dalam suatu range tertentu tergantung pada nilai *input* yang diberikan. Tujuan pembelajaran ini adalah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu. Pembelajaran ini biasanya sangat cocok untuk pengelompokan (klasifikasi) pola.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMODELAN SISTEM

3.1 Algoritma Pengerjaan

Hal-hal yang dibutuhkan untuk membuat suatu *database* tentang sifat mekanik keramik Al_2O_3 dengan variasi suhu dan presentase *aditive* yang diprediksi oleh jaringan saraf tiruan antara lain adalah data *input*, data *target*, dan *software* yang digunakan untuk membuat jaringan saraf digunakan *software* MATLAB.

3.1.1 Data *Input*

Data *input* adalah data yang akan diproses sebagai masukkan jaringan saraf tiruan agar nantinya dapat menghasilkan *output* yang sesuai target dan *valid*. Data *input* yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini ada dua macam. Pertama berupa kumpulan data suhu *sintering* yang dipakai untuk membakar keramik ketika telah selesai dicampur atau dibuat dengan campuran *aditivenya* secara merata. Suhu *sintering* untuk campuran Al_2O_3 dan *mullite* digunakan suhu dalam *range* 1200°C hingga 1600°C , *range* tersebut adalah *range* suhu dimana campuran Al_2O_3 dan *mullite* masih berada dalam satu *fase*. Dengan dipakainya *fase* tersebut sebagai data sekunder dari jurnal penelitian tedahulu yang kemudian dijadikan data *input*, maka untuk data prediksi yang dihasilkan oleh jaringan saraf tiruan nantinya juga hanya akan dapat dikatakan *valid* apabila diuji atau berkisar antara suhu 1200°C hingga 1600°C . Kumpulan data kedua yang dijadikan data *input* adalah data sekunder dari jurnal penelitian sebelumnya yang berupa presentase *aditive* dengan urutan 0%, 10%, 15%, 20%, dan juga 25% dari total seluruh zat yang ada dalam keramik. Data yang diambil dari jurnal penelitian sebelumnya yang dijadikan data *input* merupakan data yang benar-benar telah didapatkan oleh dengan cara eksperimen. Dari data eksperimen tersebut kemudian dijadikan suatu grafik

garis yang menjabarkan tentang hubungan antara seluruh variabel *input* dan bahkan variabel target yang terdapat didalamnya. Dari grafik tersebut dapat dilihat apakah garis yang menghubungkan seluruh variabel yang ada berupa garis linier atau tidak. Kebanyakan data *real plant* atau data yang diambil berdasarkan eksperimen di dunia nyata menghasilkan grafik yang tidak linier. Dari garis grafik yang tidak linier tersebut dilakukan interpolasi data agar data dapat menjadi lebih banyak, sehingga mencukupi untuk dipakai pada proses *training* atau pun proses validasi.

Tiap matriks *input* memiliki ukuran 1 x 1159, untuk *input* suhu terdiri dari 251 buah suhu 1300°C yang berasal dari suhu sintering material keramik ketika memiliki *aditiv mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0.1%, 251 buah suhu 1400°C yang berasal dari suhu sintering material keramik ketika memiliki *aditiv mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0.1%, 251 buah suhu 1500°C yang berasal dari suhu sintering material keramik ketika memiliki *aditiv mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0.1%, 251 buah suhu 1600°C yang berasal dari suhu sintering material keramik ketika memiliki *aditive mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0.1%. Dan 31 buah suhu dari 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C untuk material keramik yang memiliki presentase *aditive mullite* 0%, 31 buah suhu dari 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C untuk material keramik yang memiliki presentase *aditive mullite* 10%, 31 buah suhu dari 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C untuk material keramik yang memiliki presentase *aditive mullite* 15%, 31 buah suhu dari 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C untuk material keramik yang memiliki presentase *aditive mullite* 20%, 31 buah suhu dari 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C untuk material keramik yang memiliki presentase *aditive mullite* 25%.

Untuk *input* presentase *mullite* terdiri dari 251 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% hingga 25% dengan

interpolasi 0,1% pada suhu *sintering* sebesar 1300°C, 251 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0,1% pada suhu *sintering* sebesar 1400°C, 251 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0,1% pada suhu *sintering* sebesar 1500°C, 251 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0,1% pada suhu *sintering* sebesar 1500°C, 251 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% hingga 25% dengan interpolasi 0,1% pada suhu *sintering* sebesar 1600°C. Dan 31 buah data dari *presentase aditive mullite* 0% dengan suhu 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C, 31 buah data dari *presentase aditive mullite* 10% dengan suhu 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C, 31 buah data dari *presentase aditive mullite* 15% dengan suhu 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C, 31 buah data dari *presentase aditive mullite* 20% dengan suhu 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C, 31 buah data dari *presentase aditive mullite* 25% dengan suhu 1300°C hingga 1600°C dengan interpolasi 10°C.

Database mengenai matriks *input suhu sinterning* secara sederhana dapat ditampilkan pada tabel 3.1 di bawah ini. *Database* mengenai matriks *input suhu sinterning* secara sederhana dapat ditampilkan pada tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.1 *Database Matriks Input*

Nama	Jumlah Data	Min	Max	Mean	Standar Deviasi
Input Suhu Sinterning	31	1300	1600	1450	90,92121131
Input Presentase Aditive Mullite	251	0	25	12,7006	7,260165287

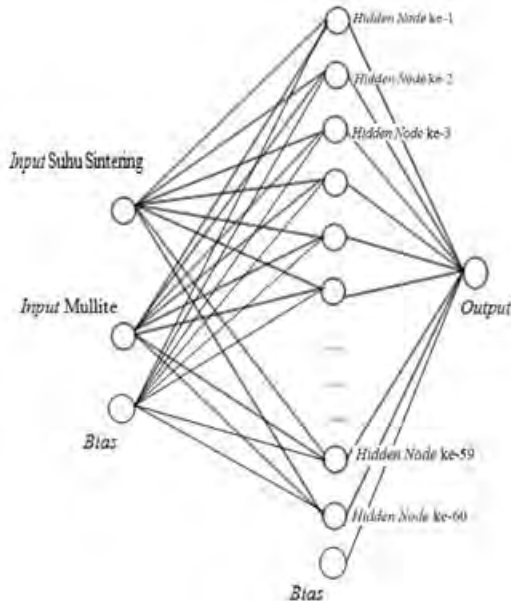
3.1.2 Data Target

Untuk data target pada penelitian ini adalah berupa data sekunder dari jurnal penelitian terdahulu yang merupakan sifat mekanik keramik Al_2O_3 . Pada umumnya sifat mekanik tersebut berupa *flexural strength* dan juga *hardness*. Data *input* dan

data target harus saling berhubungan, runtut, dan *valid*, karena dalam pengerjaan pembuatan jaringan saraf tiruan dalam *software* Matlab nantinya, data *input* dan data target akan dibuat atau disajikan dalam bentuk matriks yang dalam hal ini dibuat di *software microsoft excel* lalu kemudian diintegrasikan dengan *software* Matlab. Apabila pada matriks data *input* pada kolom ke satu dan baris ke satu berupa suhu *sintering* 1200°C dan pada kolom kesatu baris kedua berupa *presentase aditive* sebesar 0% maka dalam matriks data target pada kolom ke satu juga harus berupa target dari sifat mekanik keramik dengan suhu *sintering* 1200°C dengan *presentase aditive* 0%.

Tabel 3.2 Database Data Target *Hardness* dan *Flexural Strength* Al₂O₃ dengan *Aditive Mullite*

Nama	Jumlah Data	Min	Max	Mean	Standar Deviasi
Target <i>Hardness</i>	1159	768,67	1557,46	1057,73	183,3220785
Taget <i>Flexural Strength</i>	1159	10,85	315,6989	98,73085	106,665



Gambar 3.1 Sketsa jaringan saraf tiruan dengan model *backpropagation*, 2 input 1 output, 60 hidden node

3.1.3 Interpolasi Data

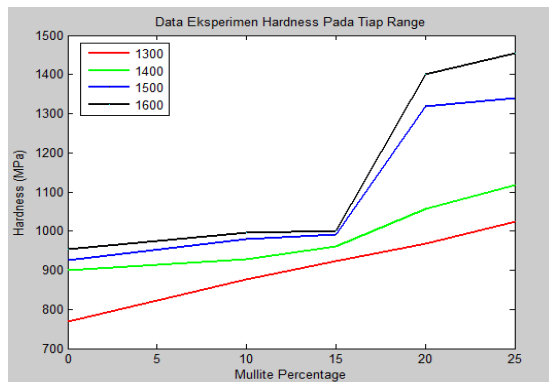
Agar banyak data yang diproses menggunakan jaringan saraf tiruan memadai, dilakukanlah suatu proses interpolasi data. Untuk data input suhu, data eksperimen yang diambil dari data sebelumnya adalah data pada suhu 1300°C, 1400°C, 1500°C, dan 1600°C. Diinterpolasi menggunakan interpolasi linear dengan kenaikan 10°C.

Untuk data input presentase *aditive mullite* didapatkan data input *mullite* dari jurnal penelitian sebelumnya sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%. Dilakukan interpolasi menggunakan metode linier dengan kenaikan sebesar 0,1%.

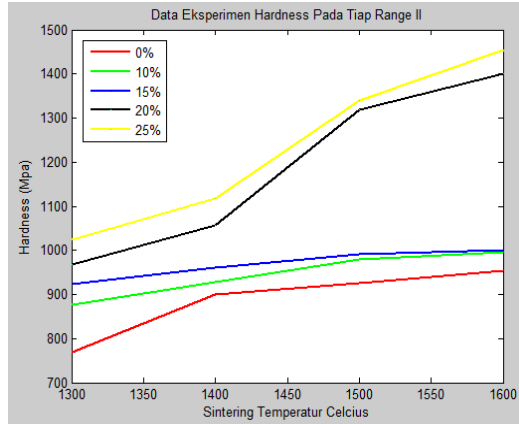
Untuk data target yang berupa sifat mekanik *hardness* dan *flexural strength* diperbanyak dengan menggunakan interpolasi lagrange karena pada grafik nilai eksperimen yang diambil dari nilai sebenarnya didapatkan suatu grafik yang tidak linier.

Tabel 3.3 Data Eksperimen *Hardness* dari Percobaan Sebelumnya

SUHU SINTERING	0%	10%	15%	20%	25%
1300	768,67	877,33	923,67	967,67	1023
1400	899	927,33	960,67	1056,7	1118
1500	924,67	980	991	1319	1340
1600	952,67	995	1001	1401,7	1454,33



Gambar 3.2 Grafik data eksperimen *hardness* yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya



Gambar 3.3 Grafik data eksperimen *hardness* kebalikan yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya

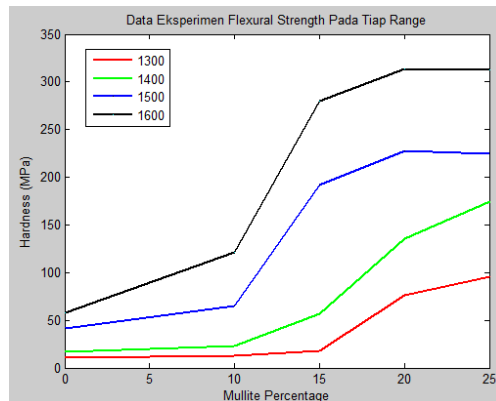
Gambar 3.3 merupakan kebalikan dari gambar 3.2, apabila pada gambar 3.2 memiliki sumbu x berupa presentase *aditive mullite* dan variasi sumbu hasil berupa suhu sintering, maka pada gambar 3.3 memiliki sumbu x berupa suhu sintering dan variasi sumbu hasil berupa presentase *aditive mullite*. Garis-garis sumbu hasil yang dihasilkan pada seluruh sumbu hasil merupakan garis yang tidak linear, untuk mencari nilai data eksperimen pada presentase *aditive mullite* 0%, 10%, 15%, 20%, 25% dan selain pada suhu sintering 1300°C, 1400°C, 1500°C, dan 1600°C harus dilakukan interpolasi menggunakan metode lagrange. Adapun persamaan yang dipakai dalam interpolasi ini adalah seperti berikut

$$f(x) \approx L_n(x) = \sum_{i=0}^n \frac{l_i(x)}{l_i(x_i)} f_i \quad (3.1)$$

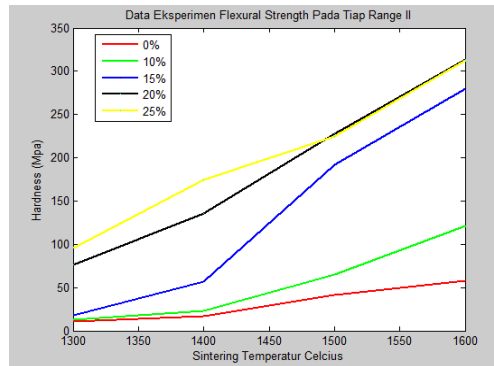
Tabel 3.4, gambar 3.5 dan gambar 3.6 menunjukkan data eksperimen mengenai sifat mekanik *flexural strength* yang didapat dari jurnal penelitian sebelumnya. Setelah dilakukan interpolasi dengan menggunakan metode interpolasi lagrange didapatkan data seperti yang tertera pada tabel 3.11.

Tabel 3.4 Data Eksperimen *Flexural Strength* Berdasar Jurnal Penelitian Sebelumnya

SUHU SINTERING	KEKUATAN PATAH PADA PENAMBAHAN MULLITE				
	0%	10%	15%	20%	25%
1300	10,85	12,42	17,75	75,84	96,16
1400	16,41	22,55	56,48	135,14	174,43
1500	41,35	65,01	191,66	227,46	224,28
1600	57,45	120,96	280,11	313,91	313,02



Gambar 3.4 Grafik data eksperimen *flexural strength* dari jurnal penelitian sebelumnya



Gambar 3.5 Grafik data eksperimen *flexural strength* kebalikan dari jurnal penelitian sebelumnya

3.1.4 Pembuatan Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan pada penelitian kali ini dihasilkan dari serangkaian perintah atau *comand* serta algoritma yang di buat pada *editor box* yang ada software Matlab. Langkah-langkah yang dijalankan antara lain inisialisasi *input*, inisialisai target, inisialisasi jaringan saraf tiruan, inisialisasi bobot awal, penentuan parameter *training* bobot atau proses pelatihan, *training* atau proses pelatihan, generalisasi bobot baru, dan pengujian.

Setelah data *input* dan data target semua terkumpul hal selanjutnya yang akan dilakukan adalah membuat jaringan saraf tiruan dalam *software* Matlab yang akan digunakan untuk memproses data *input* dan data target yang telah ada untuk menghasilkan suatu sistem prediksi yang *valid*.

Jaringan saraf tiruan yang akan dibuat memiliki tiga buah *layer* atau lapisan yang berupa lapisan *input* yang tersusun oleh dua *node*. Lapisan tersembunyi atau yang disebut juga dengan *hidden layer* memiliki tiga *node*, karena *node* ini

terletak di *hidden layer* maka *node* ini disebut juga dengan *hidden node*. Dan lapisan terakhir yang dibuat adalah lapisan atau *layer output* yang terdiri dari satu *node*.

3.1.3.1 Inisialisasi *Input*

Inisialisasi *input* adalah proses mengenalkan atau memasukkan data *input* ke dalam node *input* dari jaringan saraf tiruan yang akan dibuat. Sebelum diinisialisasi menggunakan *script* atau *code* yang memberikan perintah untuk menghadirkan atau memperkenalkan data tersebut, data tersebut ditampilkan dalam bentuk *excel* terlebih dahulu sebagai sebuah matriks. Setelah matriks dibuat melalui software *excel*, dan diberi nama, dalam penelitian kali ini data *input* dengan nama “*inputa*”. Setelah tersimpan proses selanjutnya adalah mengintegrasikan matriks yang berupa file *xls* tersebut ke dalam software Matlab. *Code* atau *script* yang harus ditulis pada *editor box* dalam Matlab adalah sebagai berikut

“*input* = [xlsread('inputa')];”

Code atau *script* tersebut juga dapat ditulis pada *comand window* Matlab. Setelah *script* tertulis dan ditekan enter, dalam *workspace* Matlab akan keluar satu kotak yang bernama *input*, apabila diklik dua kali maka akan keluar nilai-nilai matriks *input* yang persis dengan matriks *input* satu seperti yang tertera pada tabel xx. Di sebelah nama *input* dalam *workspace* maka akan muncul juga tulisan 5x10 *double* yang menunjukkan bahwa ukuran dari matriks yang ada dalam kotak *input* memiliki ukuran 5x10. Apabila ditulis dalam *comand window* tanpa tanda titik koma dibelakang *script* maka matriks akan muncul langsung di dalam *comand window* selain juga tetap muncul di dalam kotak *workspace*. *File* matriks yang disimpan dalam format *xls* tersebut haruslah disimpan di folder *document* yang berada pada folder C komputer atau laptop. Karena folder ini adalah folder

penyimpanan file pada komputer secara *default* atau umum. Apabila file matriks disimpan dalam folder lain maka *script* atau *code* diatas tidak berlaku.

3.1.3.2 Inisialisasi Target

Inisialisasi target adalah proses mengenalkan atau memasukkan data target ke dalam node target dari jaringan saraf tiruan yang akan dibuat. Sebelum diinisialisasi menggunakan *script* atau *code* yang memberikan perintah untuk menghadirkan atau memperkenalkan data tersebut, data tersebut ditampilkan dalam bentuk *excel* terlebih dahulu sebagai sebuah matriks seperti yang tertera pada tabel xx. Setelah matriks dibuat melalui software *excel*, dan diberi nama, dalam penelitian kali ini data target pada proses xxx pertama disimpan dengan nama “targetta”. Setelah tersimpan proses selanjutnya adalah mengintegrasikan matriks yang berupa file xls tersebut ke dalam *software* Matlab. *Code* atau *script* yang harus ditulis pada *editor box* dalam Matlab adalah sebagai berikut :

“target = [xlsread('targetta')]

3.1.3.3 Inisialisasi Jaringan Saraf Tiruan

Script net merupakan nama yang diberikan untuk nama jaringan saraf tiruan, *script* ini dapat diganti dengan *script* apa pun, namun yang paling umum digunakan nama *net.Script* newff adalah *script* untuk menggeneralisasi jaringan saraf tiruan model *feed forward backpropagation*. Setelah *script* newff, hal yang perlu diperhatikan hanyalah masalah urutan saja. Aturan baku setelah *script* newff adalah tanda kurung yang berisi penjabaran-penjabaran tentang jaringan saraf tiruan yang akan dibuat. *Script* pertama yang dibuat setelah tanda kurung buka adalah nama dari matriks *input* yang telah dibuat. Kebetulan nama dari matriks *input* yang telah dibuat adalah “*input*”,

maka kata “*input*” haruslah diketikkan tepat setelah tanda kurung buka. Apabila nama dari matriks *input* yang telah diberikan adalah “jeruk” maka kata tersebut harus diketikkan lagi tepat dibelakang tanda kurung buka. Setelah pengetikkan nama *input* haruslah diberi tanda koma (,) untuk mengetikkan *script* selanjutnya, begitu pula seterusnya, tidak ada spasi atau tanda pemisah lainnya untuk *script* yang berada di dalam tanda kurung setelah newff, karena fungsi dari spasi telah digantikan dengan fungsi tanda koma (.). *Script* selanjutnya adalah mengetikkan nama dari matriks target yang telah dibuat. Kebetulan nama dari matriks target yang telah dibuat adalah “target”. Setelah memasukkan nama matriks dari target yang telah dibuat hal selanjutnya yang harus dilakukan adalah memberikan atau menggeneralisasi jumlah *hidden node* yang ada dalam *hidden layer*. Untuk menggeneralisasi jumlah *hidden node* yang ada dalam *hidden layer* haruslah diberi tanda kurung dalam bentuk “[]”. Setelah tanda koma *script* yang ada di dalam kurung kurawal adalah keterangan tentang fungsi aktivasi. Ada dua keterangan tentang fungsi aktivasi yang digunakan, hal ini menunjukkan bahwa dari *inputlayer* menuju ke *hidden layer* terdapat satu fungsi aktivasi, dan dari *hidden layer* menuju ke *output layer* terdapat satu fungsi aktivasi lagi. Setelah tanda kurung kurawal tutup, terdapat keterangan tentang fungsi algoritma pelatihan yang dipakai. Fungsi algoritma pelatihan yang dipakai dalam penelitian ini pada umumnya menggunakan pelatihan *lavenberg marquadt*.

3.1.3.4 Inisialisasi Bobot Awal

Bobot awal diberikan dengan cara acak atau *random* dalam penelitian kali ini. Bobot adalah angka-angka yang diletakkan pada serabut-serabut penghubung tiap *node* pada jaringan saraf tiruan. Secara sederhana bobot dapat dikatakan sebagai pengali atau *koefisien* nilai dari *input* yang kemudian akan diteruskan ke fungsi aktivasi sebelum akhirnya sampai

pada *layer* selanjutnya. Begitu sampai ke *layer* selanjutnya maka hasil keluaran dari fungsi aktivasi akan menjadi nilai dari *hidden node*. Nilai dari *hidden node* akan diteruskan juga ke *layer* selanjutnya dengan cara dikalikan dengan bobot yang ada pada serabut saraf yang menjembatani kedua *node* yang terletak pada *layer* yang berbeda tersebut, sebelum sampai ke *layer* selanjutnya nilai hasil kali juga akan diproses oleh fungsi aktivasi terlebih dahulu, fungsi aktivasi yang menemani bobot pada celah dan serabut antar *layer* ini dapat berbeda dari tiap *layer* ke *layer* berikutnya dapat pula disamakan. Namun yang paling umum adalah ketika menjembatani *layer input* dengan *layer* tersembunyi atau *hidden layer* adalah fungsi aktivasi *sigmoid biner*, untuk menjembatani *hidden layer* menuju ke *output layer* digunakan fungsi aktivasi identitas. Perintah atau *script* yang digunakan untuk mengeneralisasi bobot awal pada tiap serabut yang ada pada jaringan saraf tiruan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} q &= \text{net.IW}\{1,1\} \\ q_w &= \text{net.LW}\{2,1\} \\ q_{we} &= \text{net.b}\{1\} \\ q_{wer} &= \text{net.b}\{2\} \end{aligned}$$

Notasi-notasi seperti q , q_w , q_{we} , dan q_{wer} hanyalah sebuah nama yang dipakai untuk menamai matriks-matriks bobot yang ada pada celah antar *node* yang terletak pada masing-masing *layer* yang berbeda. Q adalah nama untuk matriks bobot yang menjembatani nilai *node input* menuju ke fungsi aktivasi yang diteruskan ke *hidden layer*. Q_w adalah nama untuk matriks bobot yang menjembatani nilai dari *hidden node* yang diteruskan ke fungsi aktivasi kemudian diteruskan ke *layer* selanjutnya. Karena jaringan saraf tiruan yang dibuat dalam penelitian ini hanya memiliki satu *hidden layer* maka *layer* setelah *hidden layer* adalah *output layer*. Q_{we} adalah nama dari matriks bobot yang menjembatani *node bias* jaringan saraf yang terletak di *input layer* kemudian diteruskan

ke fungsi aktivasi yang diteruskan ke *node* yang ada di *hidden layer*. Qwer adalah nama matriks bobot yang dipakai untuk menjembatani *node bias* yang dihubungkan langsung ke *output node*.

3.1.3.5 Penentuan Parameter *Training* Bobot

Dalam subab sebelumnya telah dijabarkan bahwa nilai dari *input node* akan diteruskan ke *hidden node* dengan cara dikalikan dengan bobot kemudian diproses oleh fungsi aktivasi. Begitu seterusnya hingga mencapai *output layer*. Ketika *output layer* masih belum sesuai dengan target maka proses perkalian dan pengkonversian dengan menggunakan fungsi aktivasi tadi dibalik dari nilai output tadi hingga mencapai *input node* lagi. Satu kali jumlah proses tersebut perjalanan nilai *input node* kembali ke *input node* lagi maka disebut sebagai proses satu *epoch* atau iterasi. Dalam satu kali proses pelatihan pada suatu jaringan saraf tiruan bukanlah suatu hal yang aneh apabila banyaknya *epoch* mencapai nilai ribuan kali, dan bukanlah hal yang aneh juga apabila hanya memiliki nilai beberapa kali saja. Hal ini tergantung pada nilai bobot awal yang diberikan, apakah nilai-nilai tersebut mudah diperkecil *erornya* hingga membuat nilai *input* yang diberikan dapat mencapai nilai target yang diinginkan. Proses pelatihan tersebut hendaknya memiliki parameter-parameter yang dapat diketahui oleh *user* yang mengcreate perintah atau *comand* proses training tersebut. Berikut adalah beberapa *script* atau *comand* yang digunakan untuk memberikan beberapa parameter pada proses *training*.

```
“net.trainParam.epochs = 1000
  net.trainParam.goal = 0
  net.trainParam.max_fail = 6
net.trainParam.min_grad = 1e-7
  net.trainParam.mu = 0.001
  net.trainParam.mu_dec = 0.1
```

```

net.trainParam.mu_max = 1e10
net.trainParam.show = 25
net.trainParam.showCommandLine = 0
net.trainParam.showWindow = 1
net.trainParam.time = inf"

```

Pada baris pertama, `net.trainParam.epochs` bernilai 1000, hal ini berarti bahwa apabila nilai target belum juga tercapai maka proses *training* akan terhenti ketika *epoch* telah mencapai nilai 1000. Pada baris kedua, `net.trainParam.goal` bernilai 0, hal ini berarti bahwa *user* menginginkan selisih antara target dan *output* bernilai nol. Namun sayangnya nilai nol terkadang nilai yang sulit untuk dicapai, maka nilai itu juga dapat diganti dengan nilai yang sedikit lebih besar seperti 0,0000000000000000001 atau bahkan nilai yang jauh berkali-kali lipat lebih besar dari nilai itu apabila memang kondisi di lapangan mengizinkan atau mentolerir hal tersebut. Pada baris ketiga, `net.trainParam.max_fail` = 6 hal ini berarti bahwa maksimal nilai kesalahan pada proses validasi yang dapat ditolerir adalah 6. Pada baris keempat, `net.trainParam.min_grad` = 1e-7, hal ini berarti bahwa nilai minimal dari *performancegradient* adalah 0,0000007. Pada baris kelima `net.trainParam.mu` = 0.001, hal ini berarti bahwa nilai μ yang ditentukan adalah 0,001. Pada baris keenam, `net.trainParam.mu_dec` = 0.1, hal ini berarti bahwa nilai konstanta yang digunakan untuk mengurangi nilai μ adalah 0.1. Pada baris ketujuh, `net.trainParam_mu.inc` = 10, hal ini berarti bahwa konstanta yang digunakan untuk mengurangi nilai μ adalah 10. Pada baris kedelapan, `net.trainParam.mu_max` = 1e10, hal ini berarti bahwa nilai μ maksimal yang dapat digunakan adalah 10000000000. Pada baris kesembilan `net.trainParam.show` = 25, hal ini berarti bahwa setelah nilai minimal agar dapat ditampilkan di grafik *training* yang terdapat pada *training window* adalah setelah terjadi 25 *epoch*, namun bila ternyata pada prakteknya

epoch yang dibutuhkan untuk mencapai nilai target kurang dari 25, maka setelah keseluruhan total proses *epoch* selesai akan langsung ditampilkan pada *training window*. Pada baris kesepuluh `net.trainParam.showCommandLine = 0`, hal ini berarti pada *training window* yang akan muncul sama sekali tidak memberi baris untuk *comand* atau perintah untuk memodifikasi *output*. Pada baris kesebelas `net.trainParam.showWindow = 1`, hal ini menunjukkan bahwa dalam *training window* akan dimunculkan di layar monitor ketika proses *training* berlangsung, dan kebetulan pula jumlah *trainingwindow* yang dimunculkan adalah satu. Pada baris keduabelas `net.trainParam.time = inf`, hal ini berarti bahwa waktu yang dialokasikan atau diberikan oleh *user* kepada komputer dan *software* untuk melakukan proses *training* adalah tidak terbatas atau *infinity*. Proses pelatihan akan selesai atau dihentikan setelah didapatkan *error* terkecil apabila bobot diaplikasikan, sehingga mendapat nilai target yang sesuai nilai *output*. Cara untuk mengetahui bahwa bobot yang dihasilkan adalah *error* yang terkecil adalah dengan melihat grafik *error* terhadap waktu. Apabila telah didapatkan suatu nilai *error* yang memasuki zona toleransi atau mendekati zona toleransi, kemudian proses *training* tetap dilanjutkan dan didapati bahwa nilai *error* justru membesar atau bahkan semakin membesar seiring bertambahnya waktu, maka proses *training* akan dihentikan dan diambil nilai bobot pada *error* yang terkecil sebelumnya.

3.1.3.6 *Training* atau Proses Pelatihan

Setelah semua serabut pada jaringan saraf tiruan diberi bobot secara acak atau *random*, dan paramater-parameter *training* ditentukan maka langkah selanjutnya yang diambil adalah memberikan perintah untuk segera melakukan proses *training*. *Comand* atau *script* yang digunakan untuk melakukan proses *training* adalah sebagai berikut :

“net = train(net,input,target);”

Comand pertama yang digunakan dalam *comand* di atas adalah net, net sendiri adalah nama dari jaringan saraf tiruan yang telah dibuat seperti yang dijabarkan pada sub bab sebelumnya tentang inisialisasi jaringan saraf tiruan. Kata train merupakan *comand* atau *script* yang digunakan untuk menggeneralisasi proses *training* dan pada *setingdefault* secara langsung akan membuat layar monitor menampilkan *training window*. Setelah *comand* train harus diberi tanda kurung. *Comand* pertama yang dimasukkan adalah net, *comand* net kali ini tidak ada bedanya dengan *comand* net yang ada di awal *script*. Untuk pemisah antar *comand* digunakan tanda pisah koma (.). Setelah *comand* net, dilanjutkan dengan *comand input* dilanjutkan lagi dengan *comand* target. Hal ini berarti bahwa *user* menginginkan untuk melatih jaringan saraf tiruan agar melatih semua bobot yang telah disediakan dalam bentuk *random* atau acak di awal generalisasinya agar dirubah secara bertahap sehingga dapat menghasilkan *output* yang sesuai target. Analoginya adalah seperti saat seorang dewasa melatih anak kecil yang masih belajar agar apabila di beri pertanyaan *input* maka dia harus menjawab target, bukannya kata selain target atau pun menjawab targe, turget, targat, dll. Anak kecil tersebut dilatih terus hingga dapat menjawab dengan benar dengan kata target.

3.1.3.7 Generalisasi Bobot Baru

Setelah *comand* untuk proses *training* dilakukan, dan dalam *training window* ditampilkan bagaimana poisisi data yang dihasilkan oleh jaringan saraf tiruan terhadap data sebenarnya, hasil data yang baik dalam penelitian kali ini dapat diasumsikan dapat menyamai target dengan keakurasian diatas 95%. Setelah didapatkan keakurasian dengan nilai yang dapat ditolerir tersebut maka dapat dikeluarkan atau

diinisialisasi bobot baru yang telah dihasilkan dan dimasukkan ke dalam *workspace* matlab. *Comand* untuk memasukkan data matriks mengenai bobot baru adalah mirip dengan inisialisasi bobot awal secara acak, hanya saja seperti yang telah dijelaskan dalam *sub bab* sebelumnya kalau nama matriks dari bobot awal adalah q, qw, qwe, dan qwer maka untuk bobot baru yang dihasilkan dari matriks bobot awal q, qw, qwe, dan qwer tidak bisa diberi nama yang sama lagi dengan matriks awal. Matriks yang dihasilkan dapat diberi nama apa saja selain q, qw, qwe, dan qwer. Pada penelitian kali ini nama dari matriks-matriks bobot baru adalah w1 untuk pengganti bobot q, w2 untuk pengganti bobot qw, b1 untuk pengganti bobot qwe, b2 adalah pengganti untuk bobot qwer. *Comand* untuk menghasilkan bobot baru tersebut adalah sebagai berikut

```
“w1 = net.IW{1,1};
w2 = net.LW{2,1};
b1 = net.b{1};
b2 = net.b{2};”
```

3.1.3.8 Pengujian

Setelah matriks baru dimasukkan ke dalam *workspace* Matlab, langkah selanjutnya yang dapat diambil adalah menguji bagaimana hasil keluaran dengan semua nilai *input* yang dimiliki. *Comand* pengujian yang dapat diberikan untuk melakukan pengujian terhadap semua nilai *input* adalah sebagai berikut :

```
“an=sim(net,input);”
```

Comand pertama pada baris *script* di atas adalah an yang merupakan nama dari matriks *output* yang dihasilkan dengan pengujian yang dihasilkan dari seluruh *input* yang dimiliki

oleh jaringan saraf tiruan yang bernama net, dengan *comand* pengujian sim.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

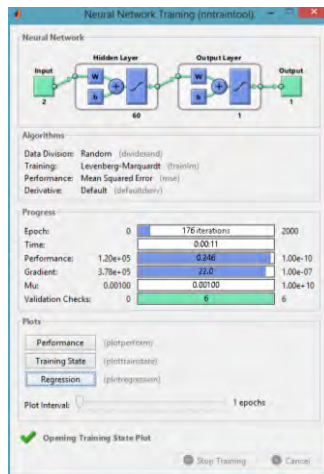
Setelah semua data sekunder dari jurnal penelitian sebelumnya diinterpolasi dengan menggunakan metode interpolasi *lagrange*, data hasil interpolasi tersebut dijadikan sebagai data *input* sekaligus data target untuk jaringan saraf tiruan yang akan dibuat. Bobot awal yang diberikan pada jaringan saraf tiruan adalah bobot acak atau *random*.

4.1 *Hardness Al₂O₃ dengan Aditive Mullite*

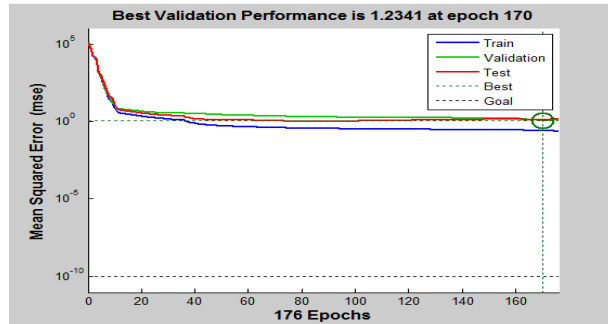
Jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk memproses bagian ini memiliki uraian seperti berikut. Terdapat 2 *node input*, yaitu *node input* suhu dan *node input* presentase *aditive mullite*. Jumlah *hidden layer* yang dipakai adalah satu, dan jumlah *hidden nodenya* adalah 60 buah. *Layer* selanjutnya yang dipakai untuk elemen pemrosesannya adalah *layer output*. Bobot awal yang didapat pada jaringan saraf tiruan yang dipakai untuk memproses sifat mekanik *hardness* yang terletak pada serabut saraf di antara *input node* dengan *hidden node* adalah seperti yang tertera pada tabel A.1 lampiran A. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *hidden node* dengan *output node* adalah seperti yang tertera pada tabel A.2 lampiran A. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *hidden node* adalah seperti yang tertera pada tabel A.3 lampiran A. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *output node* adalah seperti yang tertera pada tabel A.4 lampiran A.

Setelah seluruh bobot pada tiap serabut saraf yang ada pada jaringan saraf tiruan diinisialisasi, urutan selanjutnya yang dapat dilakukan adalah melakukan proses pelatihan atau *training* agar bobot dapat diubah sehingga *output* dapat mencapai target yang diinginkan. Keseluruhan proses yang terrecord oleh *training window* selama proses pelatihan *neural network* terjadi dapat dilihat pada gambar 4.1.

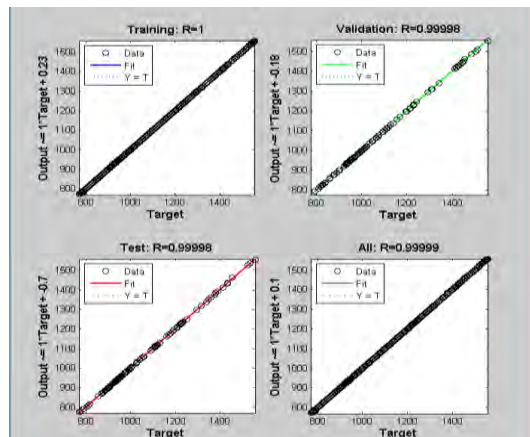
Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah *epoch* yang dibutuhkan selama proses *training* adalah sebanyak 176 *epoch*, yang dicapai dengan waktu 11 detik. Nilai dari *performance* total yang dicapai selama waktu 176 *epoch* tersebut adalah 0.246. *Performance* dapat dikatakan sebagai nilai *mean square error* (mse) yang didapat. Nilai gradien yang didapat selama *training* dalam waktu 176 *epoch* adalah 22. Nilai Mu (μ) yang dipakai adalah senilai 0.000100. *Validation checks* bernilai 6.



Gambar 4.1 *Training window* pada proses *training* prediksi *hardness* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*



Gambar 4.2 *Training Performance Window* pada proses *tarining* prediksi *hardness* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*



Gambar 4.3 *Regression window* pada proses *training* prediksi *hardness* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*

Salah satu masalah yang paling umum yang sering terjadi pada proses pelatihan *neural network* adalah *overfitting*, dimana jaringan cenderung untuk mengingat proses *training*

tanpa memperhatikan generalisasi kondisi baru. Metode *default* untuk meningkatkan generalisasi dapat disebut secara sederhana sebagai *early stopping* dan melakukan pembagian dalam pelatihan data menjadi tiga bagian. Bagian pertama, yaitu *training set*, digunakan untuk menghitung gradien dan mengupdate bobot dan bias jaringan. Bagian kedua, yaitu *validation set*, pada bagian ini *error* dimonitoring selama proses *training*, *error* akan cenderung untuk naik apabila terjadi *overfitting*. Bagian ketiga, yaitu *test set*, pada bagian ini *error* dilihat hanya untuk melihat kualitas jaringan yang tengah dibuat. Untuk *training set* digunakan 80% data target, untuk *validation set* digunakan 10% data target, untuk *test set* digunakan 10% data target.

Pada gambar 4.2 nampak bahwa *error* terus mengecil dan akhirnya tetap nilainya, tidak bertambah dan tidak juga berkurang pada *epoch* ke-176, apabila *epoch* diteruskan tetap didapatkan bahwa nilai *error* tidak bertambah dan tidak juga berkurang, maka diambil nilai bobot dan bias yang didapat pada *epoch* yang ke-176. Dengan mengaplikasikan bobot dan bias yang dihasilkan ke jaringan saraf tiruan dihasilkan nilai *output* yang memiliki akurasi di atas 99% apabila dibandingkan dengan data target dapat dilihat pada gambar 4.3 *training set* memiliki akurasi sebesar 1. *Validation set* memiliki akurasi sebesar 0,99998. *Test set* memiliki akurasi sebesar 0,99998.

Setelah selesai dilakukan proses *training* didapatkan nilai matriks bobot baru yang terdapat di antara *input node* dengan *hidden node* seperti yang tertera pada tabel A.5 lampiran A. Untuk nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *hidden node* dengan *output node* yaitu seperti yang tertera pada tabel A.6 lampiran A. Untuk nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *bias node* dengan *hidden node* yaitu seperti yang tertera pada tabel A.7 lampiran A. Untuk nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara

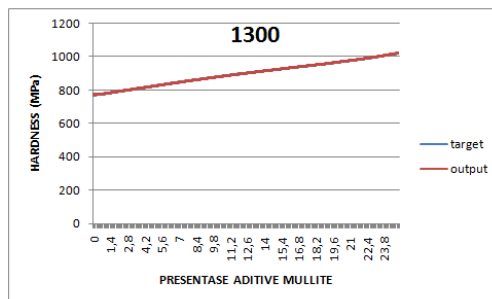
bias node dengan *output node* yaitu seperti yang tertera pada tabel A.8 lampiran A.

Dengan menggunakan seluruh matriks bobot baru yang telah didapatkan, didapatkanlah nilai matriks *output* yang memiliki karakteristik seperti yang tertera pada tabel 4.1 di bawah ini.

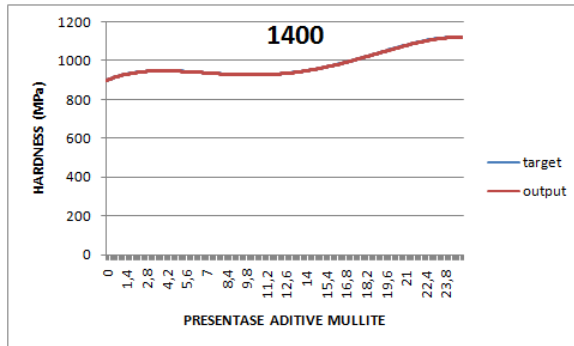
Tabel 4.1 Tabel karakteristik nilai *output* jaringan saraf tiruan untuk prediksi *hardness* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*

Nama	Jumlah Data	Min	Max	Mean	Standar Deviasi
Database Output Hardness	1159	774,231	1554,55	1057,78	183,3095518

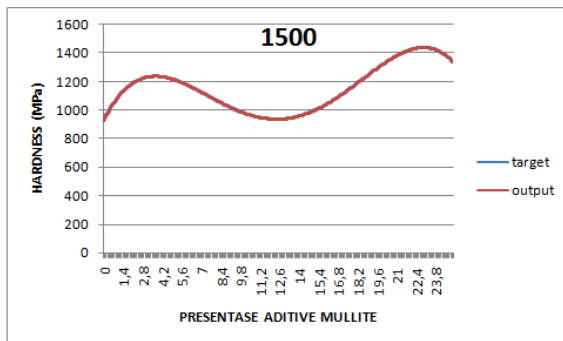
Apabila tabel 4.1 di atas dijadikan grafik maka akan nampak gambar grafik untuk tiap *range* suhu dan *range* presentase *aditive mullite* adalah seperti yang nampak pada gambar 4.4 sampai dengan gambar 4.12 di bawah ini. Apabila seluruh nilai *output* jaringan saraf tiruan dijadikan dalam satu grafik maka dapat dilihat pada gambar 4.13 dan gambar 4.14. Gambar 4.14 merupakan kebalikan dari gambar 4.13. Apabila pada gambar 4.13 memiliki sumbu x berupa presentase *aditive mullite* pada gambar 4.14 memiliki sumbu x berupa suhu sintering. Nilai *Output* jaringan saraf tiruan untuk prediksi *hardness* memiliki NRMSE sebesar 0,001%.



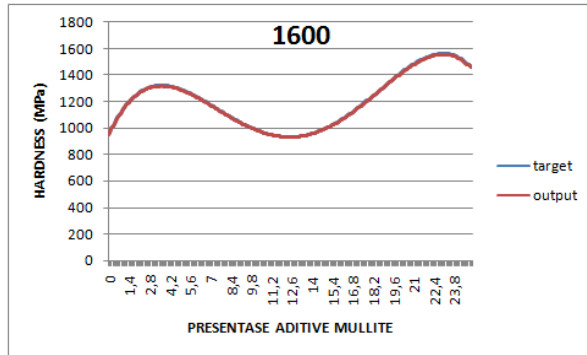
Gambar 4.4 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* suhu sintering 1300°C



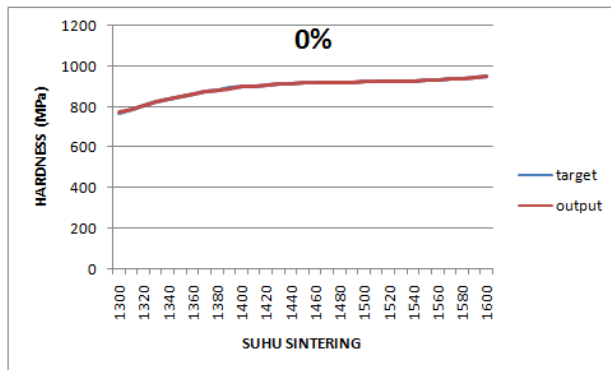
Gambar 4.5 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* suhu sintering 1400°C



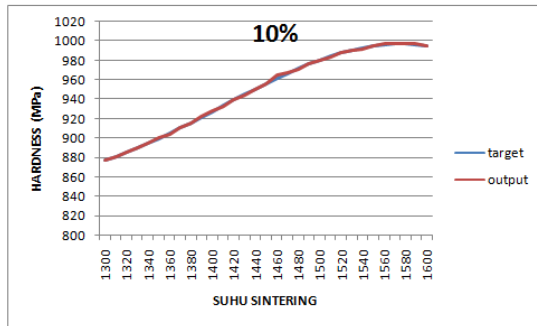
Gambar 4.6 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* suhu sintering 1500°C



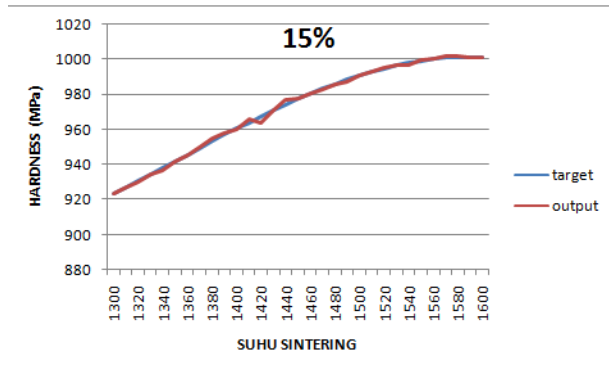
Gambar 4.7 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* suhu sintering 1600°C



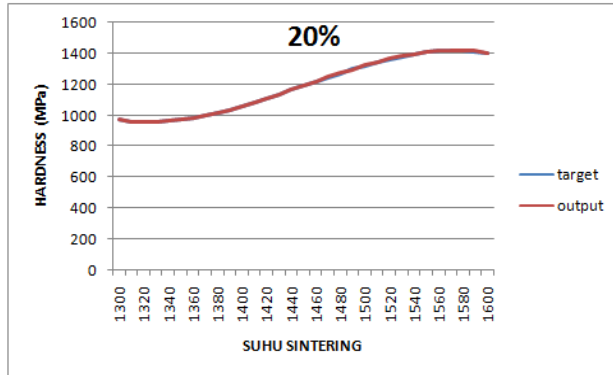
Gambar 4.8 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* presentase aditive mullite 0%



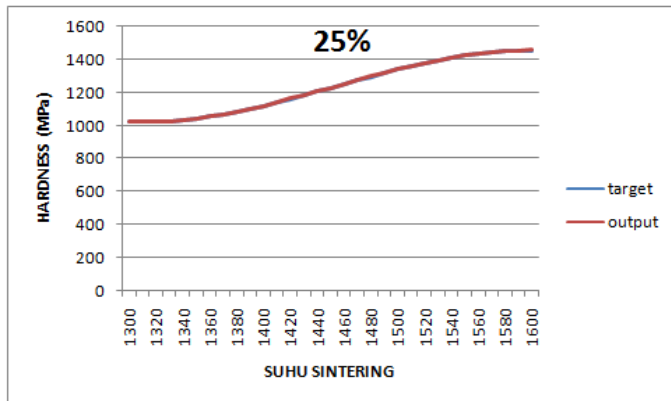
Gambar 4.9 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada range presentase additive mullite 10%



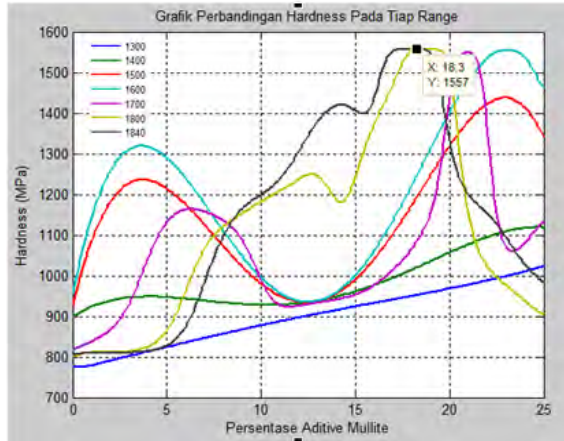
Gambar 4.10 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada range presentase additive mullite 15%



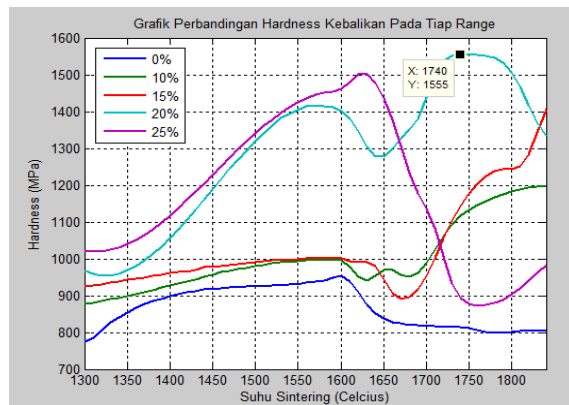
Gambar 4.11 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* presentase *aditive* mullite 20%



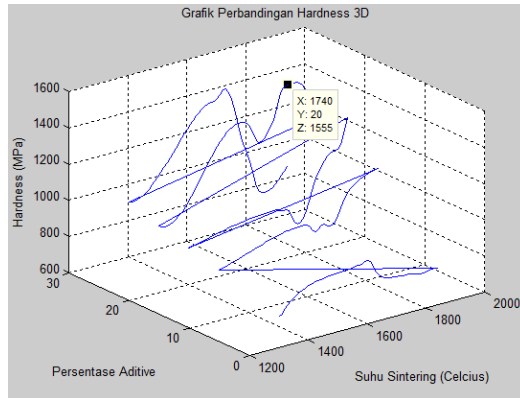
Gambar 4.12 Perbandingan data target *hardness* dan data *output* jaringan saraf tiruan pada *range* presentase *aditive* mullite 25%



Gambar 4.13 Nilai *output* jaringan saraf tiruan mengenai *hardness* pada seluruh *range*



Gambar 4.14 Nilai *output* jaringan saraf tiruan mengenai *hardness* pada seluruh *range* II



Gambar 4.15 Grafik *hardness* 3D

Dari seluruh grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* jaringan saraf tiruan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa ketika terjadi penambahan *aditive* presentase mullite sebesar 7,5% sampai dengan 15% sangat riskan sekali terjadi penurunan nilai *hardness* dari keramik Al_2O_3 . Dari empat grafik pertama dapat dilihat bahwa sumbu x merupakan grafik hasil nilai dari interpolasi presentase *aditive mullite* yang dimulai dari nilai 0% dan berakhir pada nilai 25%, dengan kenaikan presentase sebesar 0,1%. Sehingga total data yang ada pada tiap grafik pada grafik 4.4 hingga grafik 4.7 di atas adalah sebanyak 251 data. Apabila data mula-mula dibiarkan tetap apa adanya, kemudian dilakukan interpolasi terhadap nilai suhu sinteringnya maka akan didapatkan nilai perbandingan antara data interpolasi dengan data *output* dari jaringan saraf tiruan seperti grafik yang tertera pada gambar 4.8 untuk *range* presentase *aditive mullite* sebesar 0%, gambar 4.12 untuk *range* presentase *aditive mullite* sebesar 10%, gambar 4.11 untuk *range* presentase *aditive mullite* sebesar 15%, gambar 4.12 untuk

range presentase *aditive mullite* sebesar 20%, gambar 4.13 untuk *range* presentase *aditive mullite* sebesar 25%.

Dari seluruh gambar grafik yang menggambarkan tentang interpolasi *aditive mullite* dapat dilihat bahwa secara umum nilai *hardness* dari keramik Al_2O_3 naik secara signifikan pada *range* suhu 1370°C hingga 1570°C . Nilai tertinggi pada *hardness* sebesar 1557 dapat dicapai pada suhu 1800 maupun 1840, apabila dicapai pada suhu 1800 maka membutuhkan persentase mullite sebesar 18,3%, apabila dicapai pada suhu 1840 maka membutuhkan persentase mullite sebesar 17,3%

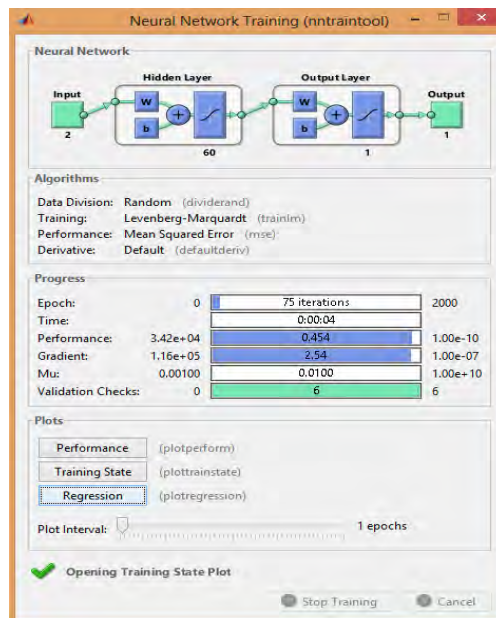
4.2 Flexural Strength Al_2O_3 dengan Aditive Mullite

Jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk memproses bagian ini memiliki uraian seperti berikut. Terdapat 2 *node input*, yaitu *node input* suhu dan *node input* presentase *aditive mullite*. Jumlah *hidden layer* yang dipakai adalah satu, dan jumlah *hidden node*nya adalah 60 buah. *Layer* selanjutnya yang dipakai untuk elemen pemrosesannya adalah *layer output*. Bobot awal yang didapat pada jaringan saraf tiruan yang dipakai untuk memproses sifat mekanik *hardness* yang terletak pada serabut saraf di antara *input node* dengan *hidden node* adalah seperti yang tertera pada tabel B.1 lampiran B. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *hidden node* dengan *output node* adalah seperti yang tertera pada tabel B.2 lampiran B. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *hidden node* adalah seperti yang tertera pada tabel B.3 lampiran B. Bobot awal yang didapat yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *output node* adalah seperti yang tertera pada tabel B.4 lampiran B.

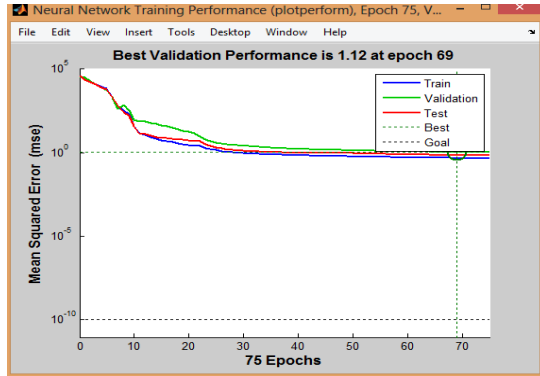
Setelah seluruh bobot pada tiap serabut saraf yang ada pada jaringan saraf tiruan diinisialisasi, urutan selanjutnya yang dapat dilakukan adalah melakukan proses pelatihan atau *training* agar bobot dapat diubah sehingga *output* dapat

mencapai target yang diinginkan. Keseluruhan proses yang terrecord oleh *training window* selama proses pelatihan *neural network* terjadi dapat dilihat pada gambar 4.16.

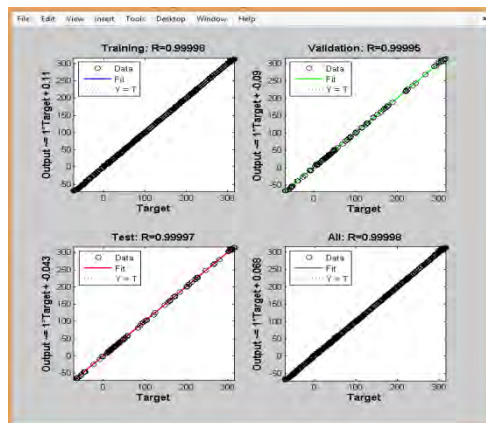
Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa jumlah *epoch* yang dibutuhkan selama proses *training* adalah sebanyak 75 *epoch*, yang dicapai dengan waktu 0,04 detik. Nilai dari *performance* total yang dicapai selama waktu 75 *epoch* tersebut adalah 1,12. *Performance* dapat dikatakan sebagai nilai *mean square error* (mse) yang didapat. Nilai gradien yang didapat selama *training* dalam waktu 75 *epoch* adalah 2,54. Nilai Mu (μ) yang dipakai adalah senilai 0.000100. *Validation checks* bernilai 6.



Gambar 4.16 *Training window* pada proses *training* prediksi *flexural strength* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*



Gambar 4.17 *Training performance window* pada proses *training* prediksi *flexural strength* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*



Gambar 4.18 *Regression window* pada proses *training* prediksi *flexural strength* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*

Pada gambar 4.17 nampak bahwa *error* terus mengecil dan akhirnya tetap nilainya, tidak bertambah dan tidak juga berkurang pada *epoch* ke-69, apabila *epoch* diteruskan tetap didapatkan bahwa nilai *error* tidak bertambah dan tidak juga berkurang, maka diambillah nilai bobot dan bias yang didapat pada *epoch* yang ke-69. Dengan mengaplikasikan bobot dan bias yang dihasilkan ke jaringan saraf tiruan dihasilkan nilai *output* yang memiliki akurasi di atas 99%. Apabila dibandingkan dengan data target dapat dilihat pada gambar 4.18, *training set* memiliki akurasi sebesar 0,99998. *Validation set* memiliki akurasi sebesar 0,99995. *Test set* memiliki akurasi sebesar 0,99997. Seluruh matriks dari nilai bobot baru yang didapatkan setelah proses *training* di atas dapat dilihat pada tabel 5 hingga tabel 8 di bawah ini.

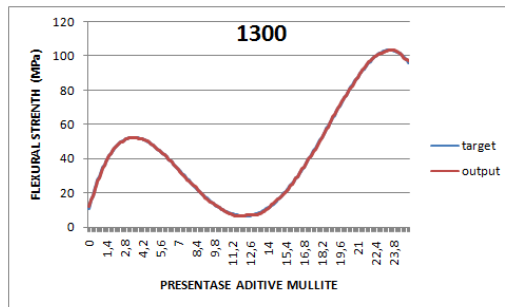
Dengan menggunakan seluruh matriks bobot baru yang telah didapatkan, didapatkanlah nilai matriks *output* yang memiliki karakteristik seperti yang tertera pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Tabel karakteristik nilai *output* jaringan saraf tiruan untuk prediksi *flexural strength* Al_2O_3 dengan *aditive mullite*

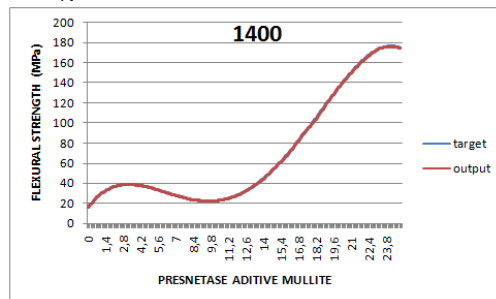
Nama	Jumlah Data	Min	Max	Mean	Standar Deviasi
<i>Database Output Flexural Strength</i>	1159	1,73283	313,98	109,35	106,604

Setelah dijadikan sebuah grafik untuk *range* suhu 1300°C nampak perbandingan antara data interpolasi dengan data sebenarnya seperti yang ada pada gambar 4.16. Untuk *range* suhu 1400°C nampak perbandingan antara data interpolasi dengan data sebenarnya seperti yang ada pada gambar 4.17. Untuk *range* suhu 1500°C nampak perbandingan antara data interpolasi dengan data sebenarnya seperti yang ada pada gambar 4.18. Untuk *range* suhu 1600°C nampak perbandingan antara data interpolasi dengan data sebenarnya seperti yang ada pada gambar 4.19. Apabila tabel 4.2 di atas dijadikan grafik maka akan nampak gambar grafik untuk tiap *range* suhu

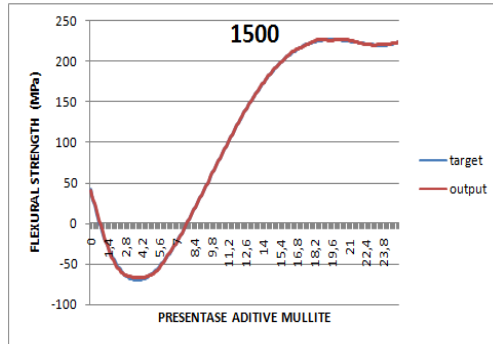
dan *range* presentase *aditive mullite* adalah seperti yang nampak pada gambar 4.16 sampai dengan gambar 4.24 di bawah ini. Apabila seluruh nilai *output* jaringan saraf tiruan dijadikan dalam satu grafik maka dapat dilihat pada gambar 4.28 dan gambar 4.29. Gambar 4.28 merupakan kebalikan dari gambar 4.29. Apabila pada gambar 4.28 memiliki sumbu x berupa presentase *aditive mullite* pada gambar 4.29 memiliki sumbu x berupa suhu sintering. Nilai *Output* jaringan saraf tiruan untuk prediksi *flexural strength* memiliki NRMSE sebesar 0,002%.



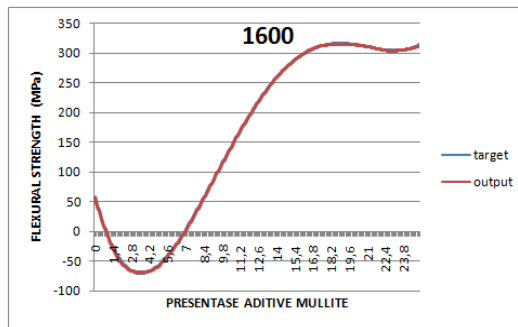
Gambar 4.19 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* suhu 1300°C sifat mekanik *flexural strength*



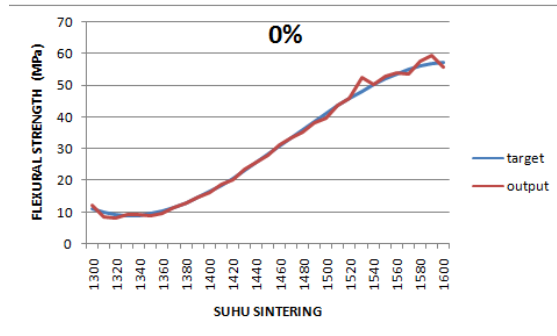
Gambar 4.20 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* suhu 1400°C sifat mekanik *flexural strength*



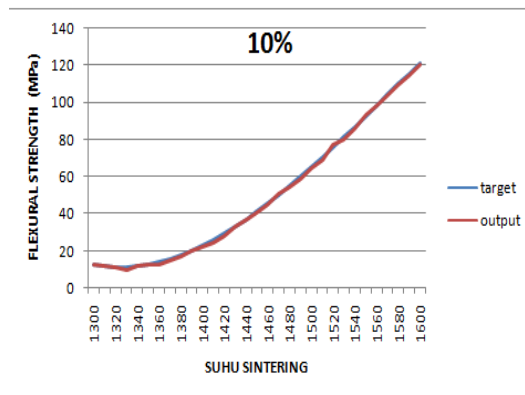
Gambar 4.21 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* suhu 1500°C sifat mekanik *flexural strength*



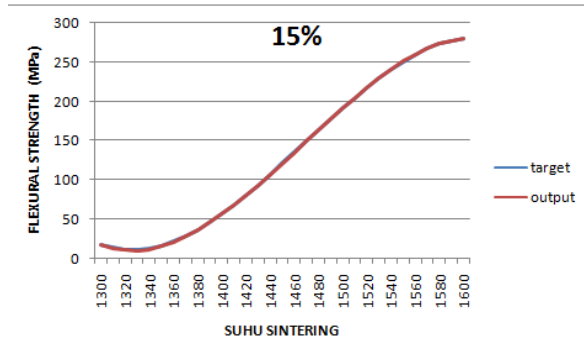
Gambar 4.22 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* suhu 1600°C sifat mekanik *flexural strength*



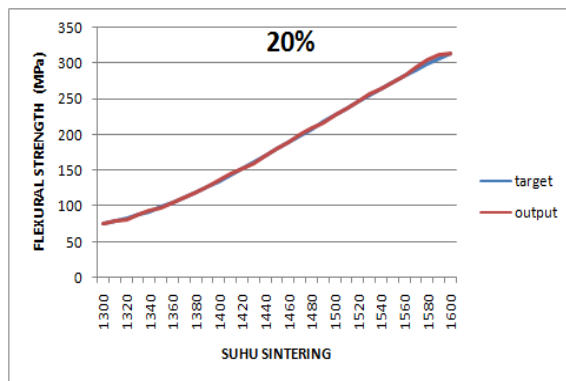
Gambar 4.23 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada range presentase mullite 0% sifat mekanik *flexural strength*



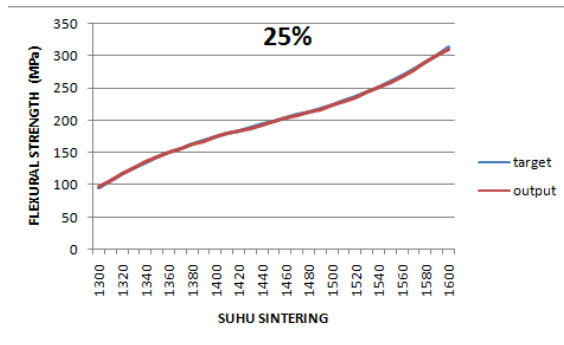
Gambar 4.24 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada range presentase mullite 10% sifat mekanik *flexural strength*



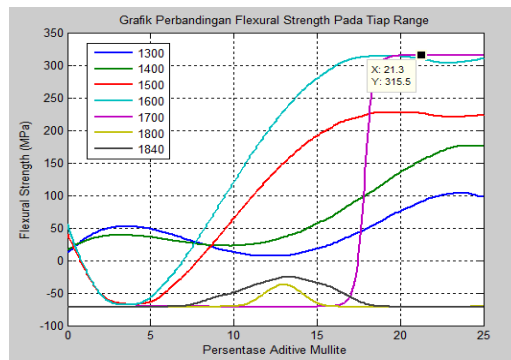
Gambar 4.25 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* presentase mullite 15% sifat mekanik *flexural strength*



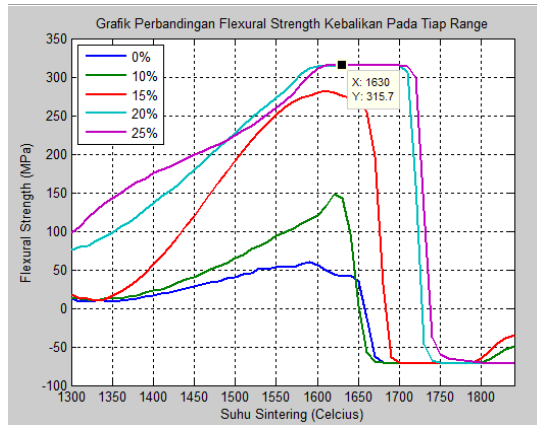
Gambar 4.26 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada *range* presentase mullite 20% sifat mekanik *flexural strength*



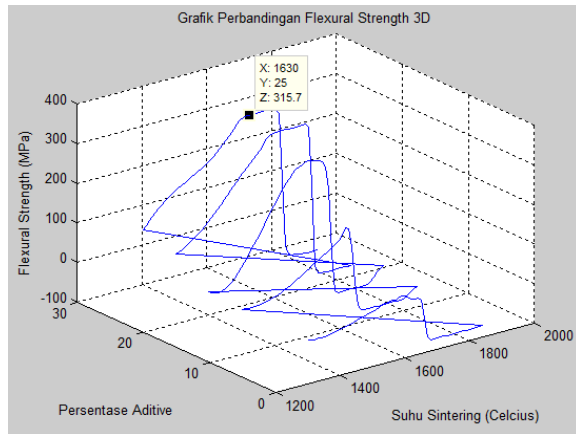
Gambar 4.27 Grafik perbandingan data interpolasi terhadap data *output* pada range presentase mullite 25% sifat mekanik *flexural strength*



Gambar 4.28 Nilai *output* jaringan saraf tiruan mengenai *flexural strength* pada seluruh range



Gambar 4.29 Nilai *output* jaringan saraf tiruan mengenai *flexural strength* pada seluruh range II



Gambar 4.30 Grafik *flexural strength* 3D

Seperti yang nampak pada gambar 4.19, grafik dengan *range* suhu sintering 1300°C mengalami kenaikan nilai *flexural strength* dimulai dari presentase *aditive mullite* 0,1% hingga mencapai puncaknya pada presentase 3,4 % kemudian terus menurun hingga pada presentase *aditive mullite* 11,8 % yang memiliki nilai *flexural strength* sebesar 6,791376948 MPa, kemudian kembali mengalami kenaikan pada puncak titik tertinggi dengan presentase *aditive mullite* sebesar 23,7 % yang memiliki nilai *flexural strength* sebesar 103,4702352 MPa. Pada gambar 4.20, grafik dengan *range* suhu sintering 1400°C mengalami kenaikan nilai *flexural strength* dimulai dari presentase *aditive mullite* 0,1% hingga mencapai puncaknya pada presentase 3,1 % kemudian terus menurun hingga pada presentase *aditive mullite* 9,8 % yang memiliki nilai *flexural strength* sebesar 22,3667156061885 MPa, kemudian kembali mengalami kenaikan pada puncak titik tertinggi dengan presentase *aditive mullite* sebesar 24,1 % yang memiliki nilai *flexural strength* sebesar 176,084016955053 MPa. Pada gambar 4.21, grafik dengan *range* suhu sintering 1500°C memiliki nilai *flexural strength* awal berdasar data target sebesar 41,35 MPa pada presentase *aditive mullite* sebesar 0% dan 65,01 MPa pada presentase *aditive mullite* sebesar 10%. Dalam grafik tersebut nampak jelas memiliki *flexural strength* yang bernilai negatif pada *range* presentase *aditive mullite* sebesar 0,9% hingga 7,9%, hal ini disebabkan oleh data target yang didapat dari hasil interpolasi dengan metode *lagrange* polinomial orde empat yang memiliki pola mirip dengan pola grafik pada gambar 4.22. Sehingga akan lebih baik bila dalam penelitian selanjutnya dicari data target yang berupa data hasil eksperimen pada presentase 0,9% hingga 7,9%. Hal tersebut juga terjadi pada gambar 4.23 dimana terdapat *flexural strength* yang bernilai negatif pada presentase 0,9% hingga 6,9%. Nilai *flexural strength* tertinggi pada *range* suhu 1500°C adalah 227,395402428697 MPa pada presentase *aditive*

mullite sebesar 18,7% dan Nilai *flexural strength* tertinggi pada *range* suhu 1600°C adalah 313,984083325891 MPa pada presentase *aditive mullite* sebesar 19,1%.

(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)

BAB V

KESIMPULAN

- 1) Nilai *hardness* tertinggi didapat pada presentase *aditive mullite* 18,3% dengan suhu sintering 1800°C sebesar 1557 MPa. Nilai ini juga bisa didapat dengan persentase *aditive mullite* 17,3 % pada suhu 1840°C.
- 2) Nilai *flexural strength* tertinggi didapat pada persentase *aditive mullite* 25% dengan suhu sintering 1630°C sebesar 315,7 MPa.
- 3) Jaringan saraf tiruan yang dipakai menggunakan arsitektur *backpropagation*, 3 *layer*, 60 *hidden node*, dan metode pelatihan *lavenberg marquadt*.

Lampiran C

```
input = [xlsread('input');xlsread('inputb')];
target = [xlsread('datatargethardnessf')];
net=newff(input,target,[60],{'tansig','tansig'},'trainlm');
net.trainParam.show = 2000;
net.trainParam.lr = 2;
net.trainParam.lr_inc = 0.3;
net.trainParam.mc = 0.9;
net.trainParam.epochs = 2000;
net.trainParam.goal = 1e-10;
net.trainParam.showCommandLine = true;
q = net.IW{1,1}
qw = net.LW{2,1}
qwe = net.b{1}
qwer = net.b{2}
net.divideFcn = 'dividerand';
net.divideParam.trainRatio = 80/100;
net.divideParam.valRatio = 10/100;
net.divideParam.testRatio = 10/100;
net = train(net,input,target);
w1 = net.IW{1,1};
w2 = net.LW{2,1};
b1 = net.b{1}
b2 = net.b{2}
an=sim(net,input);
ShowNN = [(1:size(input,2))' target' an' (target'-an)];%training
```

Lampiran A

Tabel A.1 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *input node* dengan *hidden node* prediksi *hardness*

No	Bobot awal W1 Prediksi Hardness	
1	2,808923572	10,47425169
2	-2,336291184	10,58969988
3	9,32436876	-5,536799367
4	1,519725365	10,73733835
5	-4,809626531	9,719438905
6	-9,137955478	-5,839329558
7	1,225666874	10,77486616
8	-10,49074612	-2,746679068
9	10,38176033	3,13353672
10	-7,044902551	-8,244352494
11	-5,869069355	9,118882876
12	3,254328636	-10,34453214
13	0,098466999	10,84390632
14	-4,889364098	9,679572239
15	10,2707209	-3,480271861
16	5,808762001	-9,157416885
17	3,104358525	10,39052252
18	8,207524163	-7,087774482
19	-6,437466443	-8,726913876
20	-7,918010706	7,409798003
21	1,889924724	10,67839803
22	-10,28598987	-3,434881716
23	8,986891258	-6,069249173
24	-10,84435337	2,81E-05
25	9,727209099	4,793892274
26	1,12342364	10,78600572
27	9,646722415	4,953861791
28	-7,88711011	7,442680573
29	-7,642979005	7,693170473
30	9,262601983	5,639521656

No	Bobot awal W1 Prediksi Hardness	
31	9,612413544	5,020110144
32	-8,320606164	6,954675626
33	9,456607984	-5,307783477
34	8,415698498	6,839299583
35	6,949163629	8,325210199
36	7,869513078	7,461284334
37	-8,707075751	-6,464273499
38	-7,059930721	-8,231486999
39	-10,14636348	-3,827702733
40	2,188673668	10,62119144
41	-10,80779445	0,889707283
42	8,408647223	6,847966989
43	-4,534454921	-9,850823243
44	4,150843199	10,01850791
45	-10,83223372	0,512555064
46	-3,740246144	10,17892719
47	-7,38488575	-7,941250686
48	-4,450880626	9,888865539
49	-7,991706247	7,330254515
50	9,623824269	-4,998200321
51	-8,501490336	-6,732359324
52	-9,858798839	4,517088161
53	7,888056366	7,441677685
54	-6,395078808	-8,75802301
55	10,52682315	-2,604994108
56	0,853319395	10,81072828
57	10,78608219	-1,12268921
58	8,798540908	6,339217451
59	2,355334406	10,58548061
60	-4,454455212	9,887255876

Tabel A.2 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *hidden node* dengan *output node* prediksi *hardness*

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,177057	0,122965	-0,26739	-0,33129	0,079979	0,163363	0,318625	0,088993	-0,02195	-0,00977
No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0,257939	0,223728	0,07632	0,048033	0,004896	0,257015	0,121238	-0,14887	0,285784	-0,31021
No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0,020067	0,005803	-0,00847	0,246264	0,270248	0,303825	-0,24611	-0,33007	-0,21412	0,096452
No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	0,17663	-0,13461	-0,05234	0,089688	0,087162	0,062073	-0,13557	-0,12304	0,312927	0,259044
No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	0,09375	0,039793	-0,09171	0,021961	0,137614	0,165799	0,100498	0,19063	-0,19393	-0,048
No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	-0,15453	0,228784	0,047641	0,195557	-0,06863	0,130674	0,232512	0,218939	0,241647	-0,10677

Tabel A.3 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *hidden node* prediksi *hardness*

No	Bobot Awal B1
1	-10,84435337
2	10,47674817
3	-10,10914297
4	-9,741537772
5	9,373932574
6	9,006327375
7	-8,638722176
8	8,271116977
9	-7,903511778
10	7,535906579
11	7,16830138
12	-6,800696181
13	-6,433090982
14	6,065485783
15	-5,697880584
16	-5,330275385
17	-4,962670186
18	-4,595064987
19	4,227459788
20	3,859854589

No	Bobot Awal B1
21	-3,49224939
22	3,124644191
23	-2,757038992
24	2,389433793
25	-2,021828594
26	-1,654223395
27	-1,286618196
28	0,919012997
29	0,551407798
30	-0,183802599
31	0,183802599
32	-0,551407798
33	0,919012997
34	1,286618196
35	1,654223395
36	2,021828594
37	-2,389433793
38	-2,757038992
39	-3,124644191
40	3,49224939
41	-3,859854589

No	Bobot Awal B1
41	-3,859854589
42	4,227459788
43	-4,595064987
44	4,962670186
45	-5,330275385
46	-5,697880584
47	-6,065485783
48	-6,433090982
49	-6,800696181
50	7,16830138
51	-7,535906579
52	-7,903511778
53	8,271116977
54	-8,638722176
55	9,006327375
56	9,373932574
57	9,741537772
58	10,10914297
59	10,47674817
60	-10,84435337

Tabel A.4 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *hidden node* prediksi *hardness*

0

Tabel A.5 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *input node* dengan *hidden node* prediksi *hardness*

No	Bobot W1 Baru	
1	3,657726594	13,37825259
2	-2,043212734	7,767175631
3	8,519435704	-5,067924949
4	3,085844864	12,98257576
5	-4,84173345	10,44985303
6	-8,650693176	-7,701570204
7	2,829098713	10,45104168
8	-10,45684653	-4,18039495
9	10,73295234	3,950123965
10	-7,278562243	-8,115077182
11	-6,424015267	8,850159432
12	4,373472282	-9,884935831
13	2,194359912	8,412243366
14	-3,11386921	7,284166938
15	5,453909778	-0,538191698
16	3,560115774	-5,892321152
17	3,394156618	9,434820056
18	9,841676456	-7,962921053
19	-6,79591857	-9,507915459
20	-7,668987591	5,740319069
21	1,370748454	7,651146647
22	-11,14887754	-4,664411157
23	8,095474308	-5,347458788
24	-10,54765599	0,213003315
25	9,240728631	3,467194695
26	-0,415359433	7,710348866
27	10,2492759	4,452300439
28	-7,694527394	8,28537871
29	-7,687881654	8,526846503
30	9,925035428	6,357603769

No	Bobot W1 Baru	
30	9,925035428	6,357603769
31	9,252503739	4,070168843
32	-9,095699325	8,294185986
33	10,26539703	-7,149622737
34	9,687740982	7,342882456
35	7,470024011	8,533201234
36	7,556569076	6,897990672
37	-8,539448794	-6,360796415
38	-6,204183058	-8,928686955
39	-10,86911328	-2,218038354
40	2,135204722	10,9249324
41	-10,36709831	0,733244977
42	8,584181115	7,030581363
43	-3,953356238	-8,35390499
44	4,032201861	8,92967768
45	-10,40944799	2,336048569
46	-2,578117041	9,392510984
47	-8,059901899	-7,129036079
48	-7,224419977	10,28770986
49	-8,893301935	9,663063435
50	5,546231657	-3,810411052
51	-8,5317741	-7,591977004
52	-10,3563799	4,58747893
53	9,008457558	9,750658284
54	-4,058576208	-7,647940427
55	10,47529135	-4,079454925
56	0,517935703	8,58096861
57	11,04525635	-2,405395496
58	9,681309286	3,477977466
59	0,700196911	10,71839038
60	-5,873980031	6,45572908

Tabel A.6 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *hidden node* dengan *output node* prediksi *hardness*

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	4,051855	0,701347	-0,42148	-4,31301	1,443122	0,235883	0,190102	0,12721	-0,09009	-0,16041
No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-0,2265	1,794184	0,134581	-0,22128	0,411454	0,356296	0,069348	-0,11421	0,028161	0,355105
No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0,33146	-0,48917	-0,18981	-0,08984	-0,04002	0,157838	-0,56415	-2,4303	2,344515	0,15058
No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	-0,12591	-0,1208	0,086711	0,925992	-0,23368	0,320622	1,221913	-0,09679	-0,11637	-0,07669
No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	0,063229	-0,13244	-1,6576	-1,39725	-0,00893	0,138729	-0,34999	-0,10357	-0,17657	0,601722
No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	0,309827	0,230728	0,185421	-0,24226	-0,16191	1,48712	-0,21932	-0,17043	-0,85265	-0,2978

Tabel A.7 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *bias node* dengan *hidden node* prediksi *hardness*

No	Bobot B1 Baru	No	Bobot B1 Baru	No	Bobot B1 Baru
1	-14,82866883	21	-3,410807297	40	4,591152168
2	9,106632023	22	1,394552904	41	-2,539431924
3	-10,45484269	23	-1,708610854	42	5,600448651
4	-14,26644218	24	3,284255892	43	-4,423072161
5	9,60810168	25	-3,165317431	44	4,47333707
6	10,7349768	26	-0,769627971	45	-5,318933743
7	-9,593675336	27	-1,355927774	46	-4,331309992
8	6,774162197	28	0,585682697	47	-6,126738389
9	-8,53628743	29	0,517663079	48	-6,279159742
10	8,146945493	30	0,690812485	49	-7,676749076
11	9,136570679	31	1,217890844	50	5,485284799
12	-8,881551357	32	-0,458746757	51	-6,763496197
13	-6,455624265	33	3,021401132	52	-7,5170835
14	4,370564963	34	1,596224596	53	9,717826609
15	-3,542311555	35	2,125632265	54	-5,615763109
16	-2,573800758	36	1,963072903	55	8,822961914
17	-5,542657063	37	-1,509874623	56	8,292711693
18	-5,105702105	38	-2,287387466	57	10,39592711
19	2,944796617	39	-3,127995881	58	11,14885038
20	5,55721563	40	4,591152168	59	10,08941438
				60	-11,06709453

Tabel A.8 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *bias node* dengan *output node* prediksi *hardness*

-1,96185

LAMPIRAN B

Tabel B.1 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *input node* dengan *hidden node* sifat mekanik *flexural strength*

No	Bobot Awal W1 Prediksi <i>Flexural Strength</i>	
1	-7,089136137	8,206348082
2	8,375264798	-6,888754572
3	8,064735253	-7,249830708
4	-9,975688279	-4,252721876
5	-5,890123941	-9,105297357
6	-8,283258798	6,999115922
7	10,84138905	0,253542049
8	-9,076291242	-5,934723018
9	7,172202317	8,133849883
10	-4,974017907	9,636345047
11	10,26940474	3,484153589
12	-7,009727502	-8,274280654
13	9,865349738	4,502762989
14	-10,52108476	-2,628074483
15	3,018323983	10,41583988
16	3,245848974	-10,34719597
17	-5,575246825	9,301431225
18	-10,76392258	1,318321164
19	7,478554001	-7,853103212
20	-9,564755132	5,110328684
21	-0,261839813	-10,84119181
22	-9,101625231	-5,895796652
23	-6,15734771	-8,926761405
24	-0,415665433	10,83638419
25	7,650358447	7,685832136
26	-7,427504613	-7,90140337
27	10,11756945	-3,903176719
28	4,873832029	-9,687402198
29	-10,71659971	1,659665852
30	-0,268805729	10,84102133

No	Bobot Awal W1 Prediksi <i>Flexural Strength</i>	
31	9,633878288	-4,978793944
32	-6,728330693	8,50467907
33	9,226834326	-5,697852957
34	4,655297305	-9,794294615
35	5,355619237	9,42959928
36	-0,031558176	10,84430745
37	5,247920978	9,489959189
38	-1,800726594	-10,69380118
39	-10,39130068	-3,101752747
40	-5,763727252	-9,18582866
41	2,413133866	-10,57245406
42	3,094717571	-10,39339806
43	7,930586626	7,396336645
44	9,241895582	5,673391055
45	-10,35082986	-3,234241995
46	4,748657624	9,749371814
47	4,069755176	10,05172089
48	-2,27791483	10,60241029
49	-8,730587269	-6,432483652
50	-1,854263635	-10,68464816
51	4,164898033	-10,01267319
52	10,25316352	-3,531662205
53	-10,7690766	1,275534888
54	10,75038783	-1,424486431
55	5,741491448	9,199743254
56	10,838524	0,3555243
57	-8,516439308	6,713438874
58	-4,950974295	-9,648204679
59	-10,80902027	-0,874688987
60	0,497901229	10,83291717

Tabel B.2 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *hidden node* dengan *output node* sifat mekanik *flexural strength*

Bobot Awal W2 Prediksi <i>Flexural Strength</i>										
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	-0,199081	0,070849	-0,28514	0,048192	0,217865	-0,000174	-0,038804	-0,223337	-0,300198	0,163342
No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	0,188439	-0,131379	-0,244879	-0,079491	0,209305	0,217503	0,105156	0,292829	0,281996	-0,246474
No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0,094369	-0,012216	-0,275862	0,253138	-0,001763	0,172655	-0,279781	-0,15117	0,096139	-0,233171
No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	0,088169	-0,073221	0,169088	0,097314	-0,075419	-0,127266	-0,101734	0,266601	-0,027831	-0,036594
No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	-0,029156	0,283373	-0,17875	0,243358	-0,305547	-0,100699	0,169297	-0,100038	0,075607	-0,029897
No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	-0,311728	0,063054	0,064637	0,095088	-0,100091	-0,004264	0,128407	0,246794	-0,283157	-0,255599

Tabel B.3 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *hidden node* sifat mekanik *flexural strength*

No	Bobot Awal B1	No	Bobot Awal B1	No	Bobot Awal B1
1	10,84435337	21	3,49224939	41	3,859854589
2	-10,47674817	22	3,124644191	42	4,227459788
3	-10,10914297	23	2,757038992	43	4,595064987
4	9,741537772	24	2,389433793	44	4,962670186
5	9,373932574	25	-2,021828594	45	-5,330275385
6	9,006327375	26	1,654223395	46	5,697880584
7	-8,638722176	27	-1,286618196	47	6,065485783
8	8,271116977	28	-0,919012997	48	-6,433090982
9	-7,903511778	29	0,551407798	49	-6,800696181
10	7,535906579	30	0,183802599	50	-7,16830138
11	-7,16830138	31	0,183802599	51	7,535906579
12	6,800696181	32	-0,551407798	52	7,903511778
13	-6,433090982	33	0,919012997	53	-8,271116977
14	6,065485783	34	1,286618196	54	8,638722176
15	-5,697880584	35	1,654223395	55	9,006327375
16	-5,330275385	36	-2,021828594	56	9,373932574
17	4,962670186	37	2,389433793	57	-9,741537772
18	4,595064987	38	-2,757038992	58	-10,10914297
19	-4,227459788	39	-3,124644191	59	-10,47674817
20	3,859854589	40	-3,49224939	60	10,84435337

Tabel B.4 Bobot awal yang terletak pada serabut saraf di antara *bias node* dengan *output node* sifat mekanik *flexural strength*

0

Tabel B.5 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *input node* dengan *hidden node* sifat mekanik *flexural strength*

No	Bobot Baru W1	
1	-8,436550447	10,13292106
2	5,842822434	-7,160638124
3	8,278531968	-1,094424052
4	-10,63403481	-2,359386958
5	-7,281758232	-7,385266051
6	-7,345931084	6,149811022
7	14,5297347	-4,15724816
8	-6,008756646	-10,63189121
9	6,101610483	8,471904004
10	4,367504218	11,02581133
11	12,45313551	1,705215748
12	-11,06820955	-1,447104984
13	8,670014975	5,678612777
14	-13,21032138	1,669562516
15	5,945633434	17,14187861
16	-0,007864297	-8,998217611
17	-8,105332258	0,238420431
18	-21,06906021	1,389815744
19	8,486873905	-12,02874165
20	-11,41850034	7,807387503
21	4,342255191	-10,86081963
22	-10,98181484	-1,058850405
23	-13,93428594	-6,741749912
24	-1,883235728	12,72025366
25	4,773002049	8,894118641
26	-10,85352546	-5,6510244
27	15,40925835	-4,3665172
28	4,741738866	-7,024794016
29	-11,84009121	5,242226646
30	-2,203180144	10,95586152

No	Bobot Baru W1	
31	9,472913846	-3,884910122
32	-6,805936371	12,48365255
33	1,163162504	-7,20338436
34	8,594992895	-11,06049325
35	1,462702841	6,535752677
36	0,253220988	10,86188579
37	13,7191981	6,531677218
38	-2,521904202	-13,21226779
39	-11,18199797	-0,845595586
40	-5,033914448	-9,193940562
41	-0,727516533	-10,0386798
42	6,616803116	-8,842937737
43	11,20837921	3,579945151
44	8,474261764	2,350503694
45	-13,06866542	-3,790671032
46	9,963201131	2,193251236
47	3,248290504	6,483245232
48	-8,747749388	11,58957569
49	-12,23682828	-2,780219726
50	-7,161840286	-7,521361065
51	1,877989714	-10,16205808
52	8,754349018	-4,757524566
53	-13,19750287	2,852689402
54	10,04531269	-2,429269324
55	1,367672743	11,14051115
56	11,60047197	-0,288861688
57	-1,635639174	8,254709964
58	2,821482457	-14,94223909
59	-10,77715751	-5,074838176
60	4,290265839	7,503749221

Tabel B.6 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *hidden node* dengan *output node* sifat mekanik *flexural strength*

Bobot Baru W2										
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,176089	3,171795	-2,8262	-0,17198	-2,03561	1,976935	0,344292	-0,22946	0,232001	-0,24223
No	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-0,03195	-0,11634	0,04069	-0,01716	-0,05772	-0,21216	1,572665	-0,03776	-0,05519	-0,05392
No	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	0,314476	0,135546	0,700253	-0,0661	0,157025	-0,10904	-0,29064	-0,14045	-0,0153	-0,07737
No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	0,147951	0,079048	-0,65017	-0,38951	1,924928	-0,09463	0,645104	-0,08023	-0,02475	0,122658
No	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	-0,08938	0,62047	-0,16978	0,405056	0,060198	-0,05348	-1,42937	-0,08981	0,083645	0,233054
No	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	0,148826	0,104833	0,050602	-0,13299	-0,46519	-0,03672	0,848674	-0,07566	-0,2103	0,183892

Tabel B.7 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *bias node* dengan *hidden node* sifat mekanik *flexural strength*

No	Bobot B1 Baru	No	Bobot B1 Baru	No	Bobot B1 Baru
1	7,392683559	21	2,353553536	41	4,946769712
2	-11,34248887	22	5,844559933	42	0,103163903
3	-14,14118831	23	0,927184264	43	6,2879526
4	11,32038553	24	1,186798322	44	4,955333261
5	15,40413432	25	-0,955340757	45	0,282090393
6	11,43211127	26	0,761568866	46	8,908141279
7	-2,022499851	27	-2,158877348	47	4,150463059
8	5,90861545	28	6,786394692	48	-5,811637609
9	-9,09482103	29	1,89587666	49	-7,447246667
10	4,077961337	30	2,306503069	50	-10,04948487
11	-4,062892155	31	-6,627045809	51	8,064837214
12	5,943611257	32	5,487310264	52	7,003104012
13	-6,034128781	33	1,064410614	53	-2,102558417
14	2,072622426	34	0,356173861	54	10,45179688
15	-10,72859844	35	3,078324626	55	4,639255954
16	-1,444101686	36	-1,893972324	56	8,457232638
17	12,61929673	37	-0,866841694	57	-14,32322055
18	9,433715532	38	-4,338353065	58	-7,14907934
19	-3,186832925	39	-0,015277802	59	-9,22047576
20	5,175326753	40	-2,034844188	60	10,55853961

Tabel B.8 Nilai dari matriks bobot baru yang terdapat di antara *bias node* dengan *output node* sifat mekanik *flexural strength*

0,02966
